

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

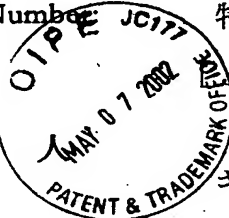
2001年 9月14日

出 願 番 号

Application Number

特願2001-279383

[ST.10/C]:



P2001-279383]

出 願

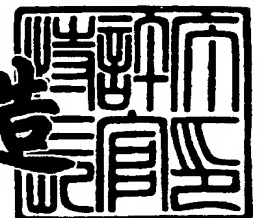
Applicant(s):

キヤノン株式会社

2002年 3月15日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



RECEIVED
MAY-8 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

出証番号 出証特2002-3016843

【書類名】 特許願

【整理番号】 4529007

【提出日】 平成13年 9月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/10
G02B 27/17
G11B 21/10
G01L 3/10
B62D 5/04
B81B 3/00

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【請求項の数】 30

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 加藤 貴久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 安田 進

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 廣瀬 太

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 八木 隆行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 水谷 英正

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 島田 康弘

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086483

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 一男

【電話番号】 0471-91-6934

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 47295

【出願日】 平成13年 2月22日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 47296

【出願日】 平成13年 2月22日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 47297

【出願日】 平成13年 2月22日

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 012036

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704371

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器、光走査型ディスプレイ、及びそれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、少なくとも一つ以上の平板状の揺動体を有し、前記揺動体が 1 本以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体において、前記トーションスプリングは、その長軸に垂直な面の断面形状の少なくとも一部が、前記平板状の揺動体の平面に対して傾斜していることを特徴とするマイクロ構造体。

【請求項 2】 前記トーションスプリングのねじり中心軸が前記平板状の揺動体の重心付近を通ることを特徴とする請求項 1 記載のマイクロ構造体。

【請求項 3】 前記トーションスプリングの長軸に垂直な面の断面形状が、そのねじり中心軸を含む面に対して対称形状を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載のマイクロ構造体。

【請求項 4】 前記トーションスプリングの材質が単結晶材料からなることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載のマイクロ構造体。

【請求項 5】 前記単結晶材料がシリコン単結晶であることを特徴とする請求項 4 記載のマイクロ構造体。

【請求項 6】 前記トーションスプリングの傾斜面がシリコン単結晶の (1 1 1) 面であることを特徴とする請求項 5 記載のマイクロ構造体。

【請求項 7】 前記基板、揺動体、トーションスプリングが共通の単結晶材料基板から一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 8】 前記単結晶材料が (1 0 0) 基板であり、トーションスプリングが異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該 (1 0 0) 基板面に対する斜面が (1 1 1) 面であることを特徴とする請求項 5、6 または 7 記載のマイクロ構造体。

【請求項 9】 前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部の外面を画する該 (1 0 0) 基板面に対する面が (1 1 1) 面であることを特徴

とする請求項 8 記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 0】前記トーションスプリングの横断面形状が V 或いは逆 V 字状、X 字状、ノの字状、またはハ或いは逆ハの字状であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 1】前記トーションスプリングの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、前記トーションスプリングの角部への応力集中が緩和されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 2】前記揺動体を支持する 2 組以上のトーションスプリングの断面形状を、夫々揺動体を挟んで対向するトーションスプリングについて異なる形状とすることを特徴とする請求項 1 乃至 1 1 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 3】前記揺動体を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含む面に対して互いに対称に配置することを特徴とする請求項 1 2 記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 4】該揺動板を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み該揺動板の平面に平行な面に対して互いに対称に配置することを特徴とする請求項 1 3 記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 5】前記揺動体が一つであり、直線に沿って伸びた一つないし一对のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 6】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、各直線に沿って伸びた一对のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 7】前記各直線が互いに角度を成して伸びていることを特徴とする請求項 1 6 記載のマイクロ構造体。

【請求項 1 8】前記角度が 9 0 度であることを特徴とする請求項 1 7 記載のマ

イクロ構造体。

【請求項 1 9】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションバーを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションバーを介在させて支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 2 0】請求項 1 乃至 1 9 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記基板と前記揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とするマイクロ力学量センサ。

【請求項 2 1】請求項 1 乃至 1 9 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とするマイクロアクチュエータ。

【請求項 2 2】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項 2 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 2 3】請求項 1 乃至 1 9 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体に設けられた光偏向子を有することを特徴とするマイクロ光偏向器。

【請求項 2 4】前記トーシヨンスプリングの長軸に垂直な面の断面形状の一部が、前記光偏向子の形成される面に対して傾斜していることを特徴とする請求項 2 3 記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 5】前記駆動手段が、固定コアと、該固定コアを周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コアからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項 2 3 または 2 4 記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 6】前記光偏向子が、光反射面或いは回折格子であることを特徴とする請求項 2 3、2 4 または 2 5 記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 2 7】請求項 2 3 乃至 2 6 の何れかに記載のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする光走査型ディスプレイ。

【請求項 2 8】請求項 8 乃至 1 0 の何れかに記載のマイクロ構造体の製造方法

であって、(100)単結晶シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターンニングする工程と、前記(100)シリコン基板を異方性エッチングする工程を含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【請求項29】前記異方性エッチングをアルカリ溶液を用いて行うことを特徴とする請求項28記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項30】前記トーションスプリングの角部を軽く等方性エッチングして、前記トーションスプリングの角部を丸くし、前記トーションスプリングの角部への応力集中を緩和する工程を更に含むことを特徴とする請求項28または29記載のマイクロ構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロマシンないしマイクロ構造体の分野に関するものである。より詳しくは、軸回りに揺動する部材を有するマイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

機械要素を小型化しようとする、と、体積力よりも、表面力の占める割合が大きくなり、摩擦の影響が通常の大きさの機械よりも大きくなることは良く知られている。そのため、マイクロマシンの設計においては、揺動部や回転部を極力少なくするように考慮するのが一般的である。

【0003】

軸回りに揺動する部材を有する光偏向器の従来例を説明する。図23は、米国特許第4317611号明細書に開示された光偏向器の斜視図を示している。図24は、その内部構造を説明するために、上記光偏向器を分解して表示した図である。また、図25と図26は、それぞれ、図23の切断線1003と1006におけるシリコン薄板1020の断面図を示している。

【0004】

上記光偏向器において、絶縁性材料からなる基板1010には、凹み部1012が形成されている。凹み部1012の底部には、一对の駆動電極1014、1016およびミラー支持部1032が配置されている。シリコン薄板1020には、トーションバー1022、1024とミラー1030が一体に形成されている。ミラー1030は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションバー1022、1024により揺動自由に支持されている。そして、シリコン薄板1020は、駆動電極1014、1016と所定の間隔を保つように基板1010上に対抗配置されている。

【0005】

ここで、シリコン薄板1020は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極1014、1016に交互に電圧を印加することで、ミラー1030に静電引力を作用させて、ミラー1030をトーションバー1022、1024の長軸の回りに揺動させられる。

【0006】

トーションバー1022、1024の断面形状は、図26に示すような台形である。ところが、この様な断面形状のトーションバーを有するマイクロ構造体は、トーションバーが撓みやすいため、外部の振動を拾ってしまったり、トーションバーの軸がぶれてしまい、正確な駆動ができないという問題点があった。

【0007】

そのため、この様な光偏向器を光走査型ディスプレイに適用した場合に、外部振動によって像がぶれたり、スポット形状が変化してしまうという問題点があった。これは、光走査型ディスプレイを持ち運び容易な形態にした場合に、より大きな問題となる。

【0008】

そこで、トーションバーを撓みにくくするために、次のような構造が提案されている。図27は、10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '99) pp.1002-1005にて開示されたハードディスクヘッド用ジンバルである。このジンバルは、ハードディスクヘッド用サスペンションの先端に取り付けられ、磁気ヘッドにロールとピッチの動きを弾性的に許容

させるためのものである。ジンバル 2 0 2 0 は、内側にロールトーシヨンバー 2 0 2 2、2 0 2 4 で回転自由に支持された支持棒 2 0 3 1 を有している。また、支持棒 2 0 3 1 の内側には、ピッチトーシヨンバー 2 0 2 6、2 0 2 8 で回転自由に支持されたヘッド支持体 2 0 3 0 が形成されている。ロールトーシヨンバー 2 0 2 2、2 0 2 4 とピッチトーシヨンバー 2 0 2 6、2 0 2 8 のねじれの軸（図 2 7 の直交する鎖線参照）は、互いに直交しており、それぞれ、ヘッド支持体 2 0 3 0 のロールとピッチの動きを担当している。

【0 0 0 9】

図 2 8 は、図 2 7 中の切断線 2 0 0 6 における断面図である。図 2 8 に示すように、トーシヨンバー 2 0 2 2 の断面形状は T 字形状をしており、また、ジンバル 2 0 2 0 はリブを有する構造になっている。

【0 0 1 0】

図 2 9 を用いて、本ジンバルの作製工程を説明する。まず、型取り用シリコンウエハー 2 0 9 1 に、ICP-RIE（誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング）のようなエッチング法を用いて、垂直エッチングを行う（a）。この型取り用シリコンウエハー 2 0 9 1 は、再利用が可能である。次に、型取り用シリコンウエハー 2 0 9 1 の上に、シリコン酸化膜とリン酸化ガラスからなる犠牲層 2 0 9 2 を成膜する（b）。続いて、構造体となるポリシリコン層 2 0 9 3 を成膜する（c）。そして、このポリシリコン層 2 0 9 3 のパターニングを行う（d）。最後に、犠牲層 2 0 9 2 を除去し、パターニングされたパッド 2 0 9 5 にエポキシ樹脂 2 0 9 4 でポリシリコン層 2 0 9 3 を接着する（e）。

【0 0 1 1】

この様にして作製された T 字断面を有するトーシヨンバーは、円断面や長方形断面のような断面形状を有するトーシヨンバーと比べて、断面二次極モーメント J が小さいわりに、断面二次モーメント I が大きいという特徴がある。そのため、比較的ねじれやすい割りに、撓みにくいトーシヨンバーを提供できる。つまり、ねじれ方向に十分なコンプライアンスを確保しながら、ねじれの軸に垂直な方向には剛性の高いトーシヨンバーを提供できる。

【0 0 1 2】

また、必要なコンプライアンスや許容ねじれ角を得るための長さが短いトーションバーを提供できるため、より小型化できるという利点もある。

【0013】

こうして、このT字断面を有するトーションバーを用いることで、ロール、ピッチ方向に十分なコンプライアンスを持ち、その他の方向には十分な剛性を有し、より小型化が可能なマイクロジンバルを提供できる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このマイクロ構造体には、次のような問題点があった。

1. T字形状断面を有するトーションバーは、振れたときに図28の2050の部分において応力の集中が生じるために壊れやすい。
2. T字形状断面を有するトーションバーは、ねじりの中心と重心軸の中心が一致していない。そのため、揺動時にねじれの軸に垂直な方向の加振力を生じてしまう。そのため、駆動時に不要な動きが生じてしまう。
3. ポリシリコンは、単結晶シリコンに比べて内部損失が大きいため、機械的なQ値が低くなってしまう。そのため、機械的な共振を利用して駆動する際に、振動振幅を大きくできない。また、損失が大きいためエネルギー効率が低い。

【0015】

本発明の目的は、この様な問題点を解決した、軸回りに揺動する部材を有するマイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ、マイクロ光偏向器等に適用できるマイクロマシンないしマイクロ構造体、その製造方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体は、基板と、少なくとも一つ以上の平板状の揺動体を有し、前記揺動体が1本以上のトーションスプリングによって前記基板に対して弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体であって、前記トーションスプリングは、その長軸に垂直な面の断面形状の少なくとも一部が、前記平板状の揺動体の平面に対して傾斜していることを特徴とす

る。トーションスプリングの長軸に垂直な面での断面形状（本明細書ではトーションスプリングの断面形状或いは横断面形状とも言う）を、平板状の揺動体の平面（マイクロ光偏向器ではここに反射面などが形成される）に対して傾斜した部分を有するように形成することにより、揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ撓みにくい構造を効果的に実現できる。

【 0 0 1 7 】

この基本構成に基づいて、以下の如きより具体的な形態が可能である。

上記の基本構成では、前記トーションスプリングのねじり中心軸が前記平板状の揺動体の重心付近を通る様に容易にできる。トーションスプリングのねじれの軸中心が揺動体の重心付近を通過する構成とすることにより、揺動体を安定にねじり振動可能となる。トーションスプリングのねじれの軸中心と揺動体の重心が一致していないと、揺動体のねじり振動に伴って、この不一致のために、ねじれの軸に垂直な方向に加振力が加わって不要な振動や変位が生じ易い。したがって、ねじれの軸中心が揺動体の重心付近を通過する構成とすることにより、マイクロ光偏向器等のマイクロ構造体の不要振動を低減できる。

【 0 0 1 8 】

前記トーションスプリングの長軸に垂直な面の断面形状が、そのねじり中心軸を含む面に対して対称形状を有する様にも容易にできる。トーションスプリングの断面形状を、揺動体の平面に対して傾斜した部分を有するように形成し、更に、対称とすることにより、ねじれの軸中心にねじり易く、ねじれの軸に垂直な方向には更に撓みにくい構造とすることができる。

【 0 0 1 9 】

前記トーションスプリングの材質は、好適にはシリコン単結晶などの単結晶材料からなる。こうすれば、内部損失を小さくできてエネルギー効率が高い揺動機構を実現できる。また、素材として単結晶材料を使用することで、機械的なQ値の高い構造を実現することができる。単結晶材料としては、入手の容易で機械特性に優れた（すなわち、比較的軽量でありながら物理的強度、耐性、寿命に優れた）単結晶シリコンを使用するのが好適である。（1 0 0）シリコン単結晶基板を用いて、前記トーションスプリングの傾斜面をシリコン単結晶の（1 1 1）面

である様にも容易にできる。

【 0 0 2 0 】

また、前記単結晶材料が（1 0 0）シリコン単結晶基板であり、トーションスプリングが異方性エッチングで形成されて、その外面を画する該（1 0 0）基板面に対する斜面が（1 1 1）面である様にできる。この際、前記基板或いは揺動体に繋がるトーションスプリングの付け根部の外面を画する（1 0 0）基板面に対する面も、（1 1 1）面である様にできる。（1 1 1）面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製されたトーションスプリングは破断し難いものとなる。更に、トーションスプリングの付け根部分の面も（1 1 1）斜面とすれば、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高められる。

【 0 0 2 1 】

典型的には、前記基板、揺動体、トーションスプリングは、共通のシリコン単結晶、水晶などの単結晶材料基板からエッチングなどで一体的に形成され得る。

【 0 0 2 2 】

トーションスプリングの断面形状としては、V 或いは逆 V 字状、X 字状、ノの字状、ハ 或いは逆ハの字状などの形状がある。V 字状、X 字状、ハの字状は後述の実施例ではほぼ左右対称になっているが、必要であれば、左右非対称な断面形状としてもよい。

【 0 0 2 3 】

前記トーションスプリングの角部（急峻な楔部分など）が等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されてもよい。

【 0 0 2 4 】

前記揺動体を支持する 2 組以上のトーションスプリングの断面形状を、夫々揺動体を挟んで対向するトーションスプリングについて異なる形状としてもよい。このことで、ねじれのコンプライアンスを十分に保ちながら、ねじれの軸に垂直な方向に更に撓みにくい構造とすることができる。すなわち、この構造では、揺動体を挟んで対向する夫々のトーションスプリングの撓みやすい方向が異なっているため、マイクロ光偏向器等のマイクロ構造体では不要となる揺動体のこの方向への振動や変位を低減することができる。

【 0 0 2 5 】

更に、揺動体を挟んで対向するトーションスプリングの断面形状を、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含む面（この面は、典型的には、該対向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み該揺動板の平面に平行な面であり、後述する各変形例ではこうなっている）に対して互いに対称に配置してもよい。このことにより、互いのトーションスプリングの撓みやすい方向を対称に交差させることができる。したがって、ねじれの軸に垂直方向に撓みにくい構造とすることが効果的にでき、上記対向するトーションスプリングを異なる形状とする形態の好ましい形態となる。

【 0 0 2 6 】

マイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が一つであり、直線に沿って伸びた一つないし一対のトーションスプリングによって該揺動体が前記基板に対して弾性的に略該直線の回りに揺動自由に支持されている形態を採り得る。一対のトーションスプリングの形態は後述の実施例に説明されているが、揺動体が充分軽量で一つのトーションスプリングで支障なく揺動自由に支持され得る場合には、こうした形態も用途に応じて使用できる。

【 0 0 2 7 】

他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、各直線に沿って伸びた一対のトーションスプリングによって、その外側の揺動体或いは前記基板に対して弾性的に略該各直線の回りに揺動自由に支持されている形態も採り得る。2つの揺動体が入れ子式に配置された例は図27に示されている。必要であれば、3つ以上の揺動体が入れ子式に配置された形態も実現できる。前記各直線が互いに成す角度は、典型的には90度であるが（図27の例参照）、これも、必要であれば90度以外の角度であってもよい。

【 0 0 2 8 】

更なる他のマイクロ構造体の形態としては、前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体がトーションスプリングを介在させて直列的に配置され、最も外側の揺動体が前記基板にトーションスプリングを介在させて支持されている形態も採り

得る。例えば、比較的小質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて比較的大質量の揺動体で挟み、両側の大質量の揺動体をトーションスプリングを介在させて基板に繋げ、これら3つのトーションスプリングを一直線に沿って伸びる形態として、この形態において、大質量の揺動体の駆動で小質量の揺動体を間接的に駆動する。いずれにせよ、本発明のマイクロ構造体は、トーションスプリングの断面形状の少なくとも一部が、平板状の揺動体の平面に対して傾斜していることに特徴があり、その形態は用途に応じて種々のものであり得る。

【 0 0 2 9 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ力学量センサは、上記のマイクロ構造体と、基板と揺動体の相対変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とする。変位検出手段としては、従来公知のものを使用して、例えば、静電容量の変化を電圧変化で検知して基板と揺動体の相対変位を検出するものがある。その具体例としては、特開平 8 - 1 4 5 7 1 7、特開 2 0 0 0 - 6 5 6 6 4、特開 2 0 0 0 - 2 9 2 4 3 4 号公報などに開示されている。

【 0 0 3 0 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロアクチュエータは、上記のマイクロ構造体と、前記揺動体を前記基板に対して相対的に駆動する駆動手段を有することを特徴とする。前記駆動手段としては、固定コアと、該固定コア（軟磁性体で形成される）を周回するコイルと、前記揺動体に接合された可動コア（軟磁性体或いは硬磁性体の永久磁石で形成されたりする。両者では駆動原理が異なり、前者では、軟磁性体の磁極は決まっておらず、固定コアに磁束が発生する時には磁気回路の磁束を切る軟磁性体の断面積の増す方向に磁束内へ軟磁性体が吸引される駆動力が起こり、磁束消滅時にはそれから解放されるのに対して、後者では、硬磁性体の磁極は決まっており、固定コアと可動コアの異或いは同磁極間の磁力（吸引力或いは反発力）が駆動力である）からなる電磁アクチュエータであったり、静電引力を利用するものであったりする。

【 0 0 3 1 】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ光偏向器は、上記のマイクロ構造体と、揺動体を基板に対して相対的に駆動する駆動手段と、前記揺動体

に設けられた光偏向子を有することを特徴とする。駆動手段については、上で述べた通りである。光偏向子としては、光反射面或いは回折格子があり、後者では1つのビームを複数のビーム（回折光）として偏向することもできる。

【0032】

更に、上記問題点を解決するための本発明の光走査型ディスプレイは、上記のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源（半導体レーザなど）と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の動作を制御する制御手段を有することを特徴とする。

【0033】

更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の製造方法は、（100）単結晶シリコン基板の両面にマスク層を成膜する工程と、前記両面のマスク層を前記揺動体とトーションスプリングの形態に応じてパターニングする工程と、前記（100）シリコン基板をアルカリ溶液などを用いて異方性エッチングする工程を含むことを特徴とする。

【0034】

これらのマイクロ構造体の製造方法において、前記トーションバーの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和してもよい。

【0035】

【作用】

本発明のマイクロ構造体の作用について説明する。

本発明のマイクロ構造体においては、上述したように、トーションスプリングの断面形状を、揺動体の平面（マイクロ光偏向器では、ここに反射面などの偏向子が設けられる）に対して傾斜した部分を有するように形成することにより、揺動体の平面（マイクロ光偏向器の反射面）に対して垂直、平行方向へ撓みにくい構造を効果的に実現することができる。例えば、マイクロ光偏向器においては、揺動体の反射面の形成されない面（すなわち反射面形成面の反対面や揺動体の側面）にアクチュエータの機能素子（例えば、静電駆動型アクチュエータの場合は、平行に対向する平板電極）を形成するため、反射面に対して、垂直、平行方向への不要発生力に起因する振動や変位が生じ易い。したがって、トーションスプ

リングの断面形状に傾斜した部分を形成することで、簡単な構造で該垂直、平行方向の撓みに対する剛性を高くし、マイクロ光偏向器の不要振動を低減することができる。

【0036】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態を明らかにすべく、図面を参照しつつ実施例を説明する。

【0037】

[実施例1]

図1は、本発明の実施例1のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。図2は、内部構造を説明するために、上記マイクロ光偏向器を分解して示した図である。図3は、本実施例のマイクロ光偏向器の動作を説明するための図2の切断線109における断面図である。図4は、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための断面図であり、図1の切断線106におけるシリコン単結晶薄板120の断面を示している。

【0038】

実施例1のマイクロ光偏向器において、ガラス基板110には、凹み部112が形成されている。凹み部112の底部には、一对の駆動電極114、116および三角柱状のミラー支持部132が配置されている。ミラー支持部132は、可能であれば、無くしてもよい。シリコン単結晶薄板120には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング128、129とミラー130が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング128、129は、図4に示すように、断面形状が左右対称なV字形状になっている。これは、一つの内角が 289.4° の7角形であり、ミラー130の平面に対して傾斜した2つの断面形状部を有する。

【0039】

ミラー130は、平板の表面に光の反射率の高い物質がコーティングされて形成されており、V字形状のトーションスプリング128、129によりこの長軸の回りに揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板120は、ミ

ラー 1 3 0 が駆動電極 1 1 4、1 1 6 と所定の間隔を保つようにガラス基板 1 1 0 上に対抗配置されている（図 3）。トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の長軸に沿ったミラー 1 3 0 の下面は図 3 に示す様にミラー支持部 1 3 2 の頂線部に接していて、該頂線部に沿う揺動軸の回りでミラー 1 3 0 が揺動可能になっている。

【 0 0 4 0 】

シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極 1 1 4、1 1 6 に交互に電圧を印加することで、ミラー 1 3 0 に静電引力を作用させて上記揺動軸の回りにミラー 1 3 0 を揺動させることができる。駆動力は静電引力に限らず、磁気力などを使うこともできる。この場合は、駆動電極の代わりに電磁石を設置してミラー 1 3 0 の下面に硬磁性体材料の磁石を固定するなどの構成をとることになる。

【 0 0 4 1 】

上記光偏向器の作製法について、図 6 と図 7 を用いて、以下に詳しく述べる。図 6 (a) ～ (e) は図 1 の切断線 1 0 6 における断面を表し、図 7 (a) ～ (e) は、図 2 の切断線 1 0 9 における断面を表している。

【 0 0 4 2 】

まず、図 6 に沿ってシリコン単結晶薄板 1 2 0 の加工について述べる。

【 0 0 4 3 】

1. シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面に、マスク層 1 5 0（例えば、 SiO_2 や低圧化学気相成長法で作製した窒化シリコン等）を成膜する。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、(1 0 0) 基板を使用する。そして、フォトリソグラフィ技術で、マスク層 1 5 0 のパターニングを行う (a)。図 6 中、基板 1 2 0 上面側、下面側には、それぞれ、幅 W_a の一つの開口と幅 W_b の二つの開口が形成される。幅 W_b の二つの開口の間のストライプ状のマスク層 1 5 0 は、幅 W_a の開口の中心線に対応して伸びている。幅 W_a は V 字形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の最上部開口の幅にほぼ設定され、幅 W_b の二つの開口の間のストライプ状のマスク層 1 5 0 の幅は V 字形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の最底部の幅にほぼ設定される。

【 0 0 4 4 】

2. KOHのようなアルカリ溶液である異方性エッチング溶液を用いて、シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面からエッチングを行う。シリコンの異方性エッチングは、(1 0 0) 面で速く進み、(1 1 1) 面で遅く進むため、エッチングは、まず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する (b、c)。このとき、エッチング部の側面は滑らかな (1 1 1) 面となる。

【 0 0 4 5 】

3. W_b の幅を有する開口部においては、基板 1 2 0 を貫通するまでエッチングが進行するが、 W_a の幅を有する開口部においては、基板 1 2 0 を貫通する手前でエッチングが止り V 字形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の底部が形成される (d)。図 5 に示すように、(1 1 1) 面は、(1 0 0) 面に対して、 54.7° の角度を有するため、開口部の幅 w と V 溝の深さ d の関係は、 $d = w/2 \cdot \tan 54.7^\circ$ である。従って、上記のように V 字形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 が形成される為に、 $W_a < 2t/\tan 54.7^\circ$ 、 $W_b > 2t/\tan 54.7^\circ$ の関係を満たしている。ここで、 t はシリコン単結晶薄板 1 2 0 の厚みである。

【 0 0 4 6 】

この様に、上面からのエッチングは、基板 1 2 0 の下面に達する前にすべての面が (1 1 1) 面になりエッチングがストップするため、V 字状の溝が形成される。下面からのエッチングは、基板 1 2 0 を貫通するまで進行し、マスク層 1 5 0 でストップする。

【 0 0 4 7 】

この際、ミラー 1 3 0 の回りの他のエッチング貫通部も形成されるように、下面側のマスク層 1 5 0 のパターニングが行われている。また、(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製された V 字形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は破断し難いものとなる。更に、上記異方性エッチングにより、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の付け根部分の V 溝の面 (図 2 (a) に 1 2 8 a、1 2 9 a で示す) も図 2 (b) に示すように (1 1 1) 斜面となるので、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高め、ミラーの光偏向角を大きくできる。

【 0 0 4 8 】

4. 上記異方性エッチング後、ガスや酸により等方性エッチングを行い、V溝の急峻な楔部分やトーションスプリングの角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【 0 0 4 9 】

5. 次に、マスク層 1 5 0 を除去する (e)。
6. 最後に、ミラー 1 3 0 を洗浄し、表面に光反射膜を成膜する。

【 0 0 5 0 】

続いて、図 7 に沿ってガラス基板 1 1 0 の加工法について述べる。

1. ガラス基板 1 1 0 の両面にマスク層 1 5 1 (レジスト等) を成膜する (a)。

【 0 0 5 1 】

2. マスク層 1 5 1 をパターニングする (b)。三角柱状のミラー支持部 1 3 2 と凹み部 1 1 2 がエッチングで形成される様にパターニングする。
3. 凹み部 1 1 2 の深さが $25\mu\text{m}$ になるように、エッチングを行う (c)。このとき、三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が形成される。

【 0 0 5 2 】

4. マスク層 1 5 1 を除去し、凹み部 1 1 2 に所定のパターンの駆動電極 1 1 4、1 1 6 を形成する (d)。

【 0 0 5 3 】

5. 図 1 に示すようなマイクロ光偏向器の形態になるように、シリコン単結晶薄板 1 2 0 とガラス基板 1 1 0 を接合する (e)。

【 0 0 5 4 】

以上のように、本実施例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、V 字形状断面を有するトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 を製造することができる。図 4 に示すように断面が V 字形状になっている本実施例の光偏向器のトーションスプリング 1 2 8 (1 2 9) は、従来の T 字形状断面のトーションバーと同様に、ねじれやすく、撓みにくい構造となっている。また、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の断面形状は、平板状の揺動体の平面 (ミラー 1 3

0) に対して傾斜した交差した2つの部分を有するので、揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ撓みにくい構造となっている。更に、本実施例によれば、単結晶シリコンをトーションスプリングの素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的なQ値が大きなマイクロ構造体を実現できる。

【0055】

更に、本実施例によれば、単結晶材料をトーションスプリングの素材に使用することで、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きくエネルギー効率の高いマイクロ光偏向器を実現できる。また、本実施例の製造方法を用いることで、比較的容易に本実施例のマイクロ構造体を製造することができる。

【0056】

上記実施例1の変形例を説明する。図8(a)は、本変形例のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。トーションスプリング628、629は基板面およびシリコンの(111)面で囲まれたV字状断面或いは逆V字状断面を有している。反射面の形成されたミラー630及び枠体620の側面形状は、シリコンの(111)面が露出した形状となるが、図8では簡単のために反射面に対して垂直な側面として描いてある。このことは、他の図でも同様である。

【0057】

本変形例のマイクロ光偏向器は、上記実施例1と異なり、2組のトーションスプリング628、629の断面形状が図8(b)に示す如く異なることを特徴としている。これにより、ねじれ易く、より撓みにくい構造を提供することができる。また、ねじれ共振駆動時に、一方のトーションスプリング628または629の構造に起因して発生する撓み振動等の不要な運動モードや外乱による影響を他方のトーションスプリング629または628の構造で相殺することができ、駆動安定性を向上させられる。

【0058】

詳細には、図8(b)に示すように、トーションスプリング628、629のA-A'断面の形状とB-B'断面の形状とが互いに基板面(トーションスプリング628、629のねじり中心軸を含んでミラー630の平面に平行な面)に

対して対称な形状になっている。また、ミラー 6 3 0 の重心が 2 組のトーションスプリング 6 2 8、6 2 9 のねじり回転軸と一致しており、さらに、駆動安定性を向上させることができる。

【 0 0 5 9 】

本変形例によるマイクロ光偏向器は、実施例 1 と同様に、シリコン基板を結晶異方性エッチングを用いて加工することにより作製する。図 6 で説明した作製プロセスを用いればよいが、他方のトーションスプリングを形成する方のマスク層 1 5 0 は図 6 のパターンとは上下逆にする。この様に、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有する部分を上下逆に組み合わせたトーションスプリング 6 2 8、6 2 9 を容易に製造することができる。

【 0 0 6 0 】

本変形例により、プロセスが容易で、2 組のトーションスプリングの断面形状が互いに異なることにより、それぞれのトーションスプリングに起因する駆動時の外乱等の影響を相殺させられるマイクロ光偏向器を実現できる。

【 0 0 6 1 】

[実施例 2]

図 9 は、本発明の実施例 2 のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。図 1 0 は、内部構造を説明するために、上記マイクロ光偏向器を分解して示した図である。図 1 1 は、図 9 の切断線 1 0 6 におけるシリコン単結晶薄板 1 2 0 の断面を示している。図 1 0 の切断線 1 0 9 における断面図は図 3 と同じである。

【 0 0 6 2 】

実施例 2 のマイクロ光偏向器においても、ガラス基板 1 1 0 には、凹み部 1 1 2 が形成されている。凹み部 1 1 2 の底部には、一对の駆動電極 1 1 4、1 1 6 および三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が配置されている。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング 1 2 2、1 2 4 とミラー 1 3 0 が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 1 2 2、1 2 4 は、図 1 1 に示すように、断面形状が X 字形状になっている。この形状は、図 1 1 より明らかなように、4 つの内角が 1 8 0 度

よりも大きい 1 2 角形であり、また、回転対称形状である。更に、ミラー 1 3 0 の平面に対して傾斜した交差した断面形状部を有する。

【 0 0 6 3 】

ミラー 1 3 0 は、平板の表面に光の反射率の高い物質がコーティングされて形成されており、X 字形状のトーションスプリング 1 2 2、1 2 4 によりこの長軸の回りに揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、ミラー 1 3 0 が駆動電極 1 1 4、1 1 6 と所定の間隔を保つようにガラス基板 1 1 0 上に対抗配置されている。トーションスプリング 1 2 2、1 2 4 の長軸に沿ったミラー 1 3 0 の下面はミラー支持部 1 3 2 の頂線部に接していて、該頂線部に沿う揺動軸の回りでミラー 1 3 0 が揺動可能になっている。

【 0 0 6 4 】

シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極 1 1 4、1 1 6 に交互に電圧を印加することで、ミラー 1 3 0 に静電引力を作用させて上記揺動軸の回りにミラー 1 3 0 を揺動させることができる。

【 0 0 6 5 】

上記光偏向器の作製法について、図 1 3 を用いて、以下に詳しく述べる。図 7 の工程は本実施例でも用いられる。図 1 3 (a) ~ (g) は図 9 の切断線 1 0 6 における断面を表し、図 7 (a) ~ (e) は、図 1 0 の切断線 1 0 9 における断面を表している。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 に沿ってシリコン単結晶薄板 1 2 0 の加工について述べる。

【 0 0 6 7 】

1. シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面に、マスク層 1 5 0 (例えば、 SiO_2 や低圧化学気相成長法で作製した窒化シリコン等) を成膜する。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、(1 0 0) 基板を使用する。そして、フォトリソグラフィ技術で、マスク層 1 5 0 のパターニングを行う (a)。このパターニングに使用するマスクパターンを図 1 2 に示す。図 1 2 に示すマスクパターンは、トーションスプリング 1 2 2、1 2 4 とミラー 1 3 0 の外形に沿って w_a の幅を有する開口部 1 9 1 が形成されており、また、幅 w_b のトーションスプリングの長手方向の中心線に

沿って W_g の幅を有する開口部 1 9 0 が形成されている。

【 0 0 6 8 】

2. KOHのようなアルカリ溶液である異方性エッチング溶液を用いて、シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面からエッチングを行う。シリコンの異方性エッチングは、(1 0 0) 面で速く進み、(1 1 1) 面で遅く進むため、エッチングは、まず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する (b)。

【 0 0 6 9 】

3. W_g の幅を有する開口部 1 9 0 においては、基板 1 2 0 の中央に達する前にすべての面が (1 1 1) 面になりエッチングがストップするため、V字状の溝 (図 1 1 に示す様に、深さ d_g で、幅 W_g である) が形成される。また、 W_a の幅を有する開口部 1 9 1 においては、基板 1 2 0 を貫通するまでエッチングが進行する (c)。図 5 に示すように、(1 1 1) 面は、(1 0 0) 面に対して、 54.7° の角度を有するため、開口部の幅 w とV溝の深さ d の関係は、 $d=w/2 \cdot \tan 54.7^\circ$ である。従って、ここでは、 $W_g < 2t/\tan 54.7^\circ$ 、 $W_a > 2t/\tan 54.7^\circ$ の関係を満たしている。ここで、 t はシリコン単結晶薄板 1 2 0 の厚みである。

【 0 0 7 0 】

4. 開口部 1 9 1 の上下からの穴が貫通したあとは、エッチングは側方に進んでいく (d、e)。

【 0 0 7 1 】

5. (1 1 1) 面に到達して、エッチングがストップする。このときトーシヨンスプリング 1 2 2、1 2 4 の断面はX字形状になる (f)。図 1 1 に示す様に、このX字断面の側部のV溝の深さは k_b で、幅は t である。この際、(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製されたX字形状のトーシヨンスプリング 1 2 2、1 2 4 は破断し難いものとなる。更に、上記異方性エッチングにより、トーシヨンスプリング 1 2 2、1 2 4 の付け根部分のV溝の面 (図 1 0 (a) に 1 2 2 a、1 2 4 a で示す) も図 1 0 (b) に示すように (1 1 1) 斜面となるので、ここへの応力集中が緩和できて、トーシヨンスプリングの信頼性を高め、ミラーの光偏向角を大きくできる。

【 0 0 7 2 】

6. 上記異方性エッチング後、ガスや酸により等方性エッチングを行い、V溝の急峻な楔部分やトーションスプリングの角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【 0 0 7 3 】

7. 次に、マスク層 1 5 0 を除去する (g)。

8. 最後に、ミラー 1 3 0 を洗浄し、表面に光反射膜を成膜する。

【 0 0 7 4 】

ガラス基板 1 1 0 の加工法については、図 7 に沿って述べた実施例 1 の説明と同じである。

【 0 0 7 5 】

以上のように、本実施例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、X 字形状断面を有するトーションスプリング 1 2 2、1 2 4 を製造することができる。図 1 1 に示すように断面が X 字形状になっている本実施例の光偏向器のトーションスプリング 1 2 2 (1 2 4) は、断面二次極モーメント J が小さい割に、断面二次モーメント I が大きいという特徴がある。また、その横断面形状が回転対称形状なので、揺動時にねじれの軸に垂直な方向の加振力が生じないマイクロ構造体を実現できる。更に、トーションスプリング 1 2 2、1 2 4 の断面形状は、平板状の揺動体の平面 (ミラー 1 3 0) に対して傾斜した交差した部分を有するので、揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ更に撓みにくい構造となっている。

【 0 0 7 6 】

本実施例によっても、単結晶シリコンをトーションスプリングの素材に使用することで、ポリシリコンに比べて、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きくエネルギー効率の高い、機械的な Q 値が大きなマイクロ構造体を実現できる。

【 0 0 7 7 】

また、揺動したときにトーションスプリングの軸に垂直な方向に振動しにくいので、精度が高いマイクロ光偏向器を実現でき、機械的な Q 値が高いために共振駆動したときに振動振幅が大きく、エネルギー効率の高いマイクロ光偏向器を実

現できる。更に、本実施例の製造方法を用いることで、比較的容易にX字形状の断面を有するトーションスプリングを製造することができる。

【0078】

上記実施例2の変形例を説明する。図14(a)は、本変形例のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図である。トーションスプリング728、729は、基板面720およびシリコンの(111)面で囲まれた偏平断面を有している。

【0079】

本変形例のマイクロ光偏向器は、上記実施例2と異なり、2組のトーションスプリング728、729の断面形状が異なることを特徴としている。これにより、ねじり易く、更に撓みにくい構造を提供することができる。また、ねじれ共振駆動時に、一方のトーションバー構造に起因して発生する撓み振動等の不要な運動モードや外乱による影響を他方のトーションバー構造で相殺することができ、駆動安定性を向上させられる。

【0080】

詳細には、図14(b)に示すように、トーションバー728のA-A'断面の形状とトーションバー729のB-B'断面の形状とが互いに基板面720(ミラー730の面でもある。より正確には、トーションバー728、729のねじり中心軸を含んでミラー730の平面に平行な面)に対して対称な図形になっている。また、2組のトーションバー728、729の重心(ミラー730の重心でもある)がねじり回転軸と一致しており、さらに、駆動安定性を向上させることができる。

【0081】

本変形例によるマイクロ光偏向器は、上記実施例2と同様に、シリコン基板を結晶異方性エッチングを用いて加工することにより作製される。図15は作製プロセスを示す断面図である。

【0082】

まず、面方位(100)の単結晶シリコン基板720の両面に低圧化学気相成長法を用いて窒化シリコンよりなるマスク層731、732を形成する(図15(a)参照)。次に、フォトリソグラフィーおよび CF_4 ガスを用いたドライエ

ッチング法によりマスク層 7 3 1、7 3 2 のパターンニングを行なう（図 1 5（b）参照）。ここでは、基板 7 2 0 の上下面でトーションバーの幅の分だけマスク層が残され、これら残されたマスク層部分はトーションバーの傾斜に応じて左右にずれている。次に、1 0 0℃に加熱した 3 0 % の水酸化カリウム水溶液を用いてシリコン 7 2 0 の結晶異方性エッチングを行なう（図 1 5（c）参照）。さらに、このエッチングを継続することにより基板 7 2 0 を貫通させる（図 1 5（d）参照）。この際のエッチング方向は図示の通りである。さらに、上記のエッチングを継続することにより、側面が Si（1 1 1）面よりなる板バネ状のトーションバー 7 2 8 または 7 2 9 が形成される（図 1 5（e）参照）。ミラー 7 3 0 を挟んだ反対側の他方のトーションバー 7 2 9 または 7 2 8 も同時に形成されるが、この部分ではマスク層は図 1 5 とは上下逆にした態様でパターンニングされて異方性エッチングが行われている。

【0 0 8 3】

ここで、マスク層は除去してもよい。また、反射面の表面に反射膜を成膜してもよい。以上のように、本変形例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバー 7 2 8、7 2 9 を組み合わせたトーシヨンスプリングを容易に製造することができる。

【0 0 8 4】

本変形例により、次の様なマイクロ光偏向器を提供することができる。ここでは、2 組のトーシヨンスプリングがそれぞれ一枚の板バネ状という簡単な構造であり、プロセスが容易であり、2 組のトーシヨンスプリングの断面形状が互いに異なることにより、ねじり易く更に撓みにくい構造を有し、かつ、それぞれのトーシヨンスプリングに起因する駆動時の外乱等の影響を相殺させることができる。更に、2 組のトーションバーの重心とねじり回転軸とを容易に一致させることができ、駆動を安定させることが容易にでき、トーションバーに応力集中部分がなく、破壊しにくい構造になっている。

【0 0 8 5】

[実施例 3]

図 1 6 は、本発明の実施例 3 のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図であ

る。図 1 7 は、内部構造を説明するために、上記マイクロ光偏向器を分解して示した図である。図 1 8 は、図 1 6 の切断線 1 0 6 におけるシリコン単結晶薄板 1 2 0 の断面を示し、本実施例の特徴であるトーションスプリングの構造を説明するための断面図である。図 1 7 の切断線 1 0 9 における断面図は図 3 と同じである。

【0086】

実施例 3 のマイクロ光偏向器においても、ガラス基板 1 1 0 には、凹み部 1 1 2 が形成されている。凹み部 1 1 2 の底部には、一对の駆動電極 1 1 4、1 1 6 および三角柱状のミラー支持部 1 3 2 が配置されている。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、バルクマイクロマシニング技術により、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 とミラー 1 3 0 が、一体に形成されている。本実施例の特徴であるトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は、扁平トーションバー 1 2 2、1 2 3；1 2 4、1 2 5 が図 1 8 に示す様に 2 本ずつ組になって、断面形状が逆ハの字形状に配置されることで構成されている。

【0087】

ミラー 1 3 0 は、平板の表面に光の反射率の高い物質がコーティングされて形成されており、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 により揺動自由に支持されている。そして、シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、ミラー 1 3 0 が駆動電極 1 1 4、1 1 6 と所定の間隔を保つようにガラス基板 1 1 0 上に対抗配置されている。トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 のねじり軸に沿ったミラー 1 3 0 の下面はミラー支持部 1 3 2 の頂線部に接していて、該頂線部に沿う揺動軸の回りでミラー 1 3 0 が揺動可能になっている。

【0088】

シリコン単結晶薄板 1 2 0 は、電氣的に接地されている。従って、駆動電極 1 1 4、1 1 6 に交互に電圧を印加することで、ミラー 1 3 0 に静電引力を作用させて上記揺動軸の回りにミラー 1 3 0 を揺動させることができる。これらの構成は上記の実施例 1、2 と同じである。

【0089】

本実施例の光偏向器の作製法について、図 1 9 を用いて、以下に詳しく述べる

。図 7 の工程は本実施例でも用いられる。図 1 9 (a) ~ (e) は図 1 6 の切断線 1 0 6 における断面を表し、図 7 (a) ~ (e) は、図 1 7 の切断線 1 0 9 における断面を表している。

【 0 0 9 0 】

図 1 9 に沿ってシリコン単結晶薄板 1 2 0 の加工について述べる。

1. シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面に、マスク層 1 5 0 (例えば、 SiO_2 や低圧化学気相成長法で作製した窒化シリコン等) を成膜する。シリコン単結晶薄板 1 2 0 には、(1 0 0) 基板を使用する。そして、フォトリソグラフィ技術で、マスク層 1 5 0 のパターニングを行う (a) 。このマスクパターンは、トーションスプリング 1 2 8 、 1 2 9 の部分では、基板 1 2 0 上面側と下面側にそれぞれ幅 W_a と幅 W_b のストライプ状開口が形成されている。幅 W_b のストライプ状開口はストライプ状マスク層 1 5 0 を挟んで一対形成され、幅 W_a のストライプ状開口は該ストライプ状マスク層に対応する上面個所に 1 つ形成されている。幅 W_a は 2 つのトーションバー 1 2 2 、 1 2 3 ; 1 2 4 、 1 2 5 の最上部の間隔に設定され、幅 W_b の二つの開口の間のストライプ状のマスク層 1 5 0 の幅は 2 つのトーションバー 1 2 2 、 1 2 3 ; 1 2 4 、 1 2 5 の最底部の間隔に設定される。このマスクパターンでは、ミラー 1 3 0 の外形に沿って適当な幅の開口部も基板 1 2 0 上面側に形成されている。

【 0 0 9 1 】

2. KOH のようなアルカリ溶液である異方性エッチング溶液を用いて、シリコン単結晶薄板 1 2 0 の両面からエッチングを行う。シリコンの異方性エッチングは、(1 0 0) 面で速く進み、(1 1 1) 面で遅く進むため、エッチングは、まず、掘り進むにつれて開口部が狭くなるように進行する (b 、 c) 。

【 0 0 9 2 】

3. 両面から基板 1 2 0 を貫通するまでエッチングが進行し、マスク層 1 5 0 でストップする (d) 。図 5 に示すように、シリコンの (1 1 1) 面は、(1 0 0) 面に対して、5 4 . 7 度の角度を有するため、開口部の幅 w と V 溝の深さ d の関係は、 $d = w / 2 \cdot \tan 54.7^\circ$ である。従って、基板 1 2 0 を貫通するためには、 W_a 、 $W_b > 2 t / \tan 54.7^\circ$ の関係を満たす必要がある。ここで、 t はシリコン単結

晶薄板 1 2 0 の厚みである。

【 0 0 9 3 】

この際、(1 1 1) 面は高精度且つ滑らかに形成されるので、作製された逆ハの字断面形状のトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は破断し難いものとなる。更に、上記異方性エッチングにより、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の付け根部分の V 溝の面 (図 1 7 (a) に 1 2 8 a、1 2 9 a で示す) も図 1 7 (b) (図 1 7 (a) の切断線 1 9 0 におけるシリコン単結晶薄板 1 2 0 の断面図) に示すように (1 1 1) 斜面となるので、ここへの応力集中が緩和できて、トーションスプリングの信頼性を高め、ミラーの光偏向角を大きくできる。

【 0 0 9 4 】

4. 上記異方性エッチング後、ガスや酸により等方性エッチングを行い、トーションスプリングの角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【 0 0 9 5 】

5. 次に、マスク層 1 5 0 を除去する (e) 。

6. 最後に、ミラー 1 3 0 を洗浄し、表面に光反射膜を成膜する。

【 0 0 9 6 】

ガラス基板 1 1 0 の加工法については、図 7 に沿って述べた実施例 1 の説明と同じである。

【 0 0 9 7 】

以上のように、本実施例の製造方法によれば、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバー 1 2 2、1 2 3 ; 1 2 4、1 2 5 を逆ハの字形状に組み合わせたトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 を製造することができる。

【 0 0 9 8 】

図 1 8 に示すように、本実施例の光偏向器のトーションスプリング 1 2 8 (1 2 9) においては、2 本の偏平トーションバー 1 2 2 (1 2 4) と 1 2 3 (1 2 5) が、互いに 70.6° の角度を持って配置されている。つまり、偏平トーションバーの最も撓みやすい (曲げ剛性が低い) 方向が、平行にならないように組

み合わされているため、トーションスプリング全体として、曲げ剛性が高い構造となっている。更に、トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 の断面形状は、平板状の揺動体の平面（ミラー 1 3 0）に対して傾斜した交差した 2 つの部分をもつるので、揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ更に撓みにくい構造となっている。

【 0 0 9 9 】

本実施例によれば、T 字断面のトーションバーと異なり、大きな応力集中が生じないので、同じねじりばね定数、同じ長さのトーションスプリングを考えたときに、より壊れにくいマイクロ構造体を実現できる。また、本実施例によれば、同じ許容ねじり角で考えると、T 字断面のトーションバーと比べて、より小型化が可能なマイクロ構造体を実現できる。更に、単結晶シリコンを素材に使用することで、ポリシリコンに比べて機械的な Q 値が大きなマイクロ構造体を実現できる。

【 0 1 0 0 】

そして、本実施例によれば、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きいマイクロ光偏向器を実現できる。更に、本実施例の製造方法を用いることで、比較的容易に本発明のマイクロ構造体を製造することができる。

【 0 1 0 1 】

実施例 3 の変形例を図 2 0 を用いて説明する。図 2 0 は、本発明の実施例 3 の変形例のマイクロ光偏向器を説明するための斜視図（a）及び断面図（b）である。この変形例では、トーションバーは基板面およびシリコンの（1 1 1）面で囲まれた偏平断面を有しており、これが逆ハ及びハの字状に 2 枚組み合わされてトーションスプリング 5 2 8、5 2 9 となっている。図 2 0 でも、反射面 5 3 0 及び枠体 5 2 0 の側面形状は、シリコンの（1 1 1）面が露出した形状となるが、簡単のために反射面 5 3 0 に対して垂直な側面として描いてある。

【 0 1 0 2 】

本変形例のマイクロ光偏向器は、図 2 0（b）に示すように、トーションバーの A - A' 断面の形状と B - B' 断面の形状とが、基板面（より正確には、該対

向するトーションスプリングのねじり中心軸を含み反射面 5 3 0 に平行な面) に対して互いに対称な形状になっている。これにより、ねじれ共振駆動時に、一方のトーションバー構造に起因して発生する撓み振動等の不要な運動モードや外乱による影響を他方のトーションバー構造で相殺することができ、駆動安定性を向上させることができる。

【 0 1 0 3 】

本変形例によるマイクロ光偏向器では、上記実施例 3 と同様に（他方のトーションバー構造について図 1 9 のマスク層 1 5 0 のパターンを変える（上下を逆にする）のみでよい）、異方性エッチングを 1 度行うだけで、偏平断面を有するトーションバーを組み合わせたトーションスプリング 5 2 8、5 2 9 を容易に製造することができる。

【 0 1 0 4 】

本変形例においては、プロセスが容易であり、2 組のトーションスプリングの断面形状が互いに異なることにより、上述した様にそれぞれのトーションスプリングに起因する駆動時の外乱等の影響を相殺させることができ、トーションバーに応力集中部分がなく、破壊しにくい構造となったマイクロ光偏向器を実現することができる。

【 0 1 0 5 】

[実施例 4]

図 2 1 は、本発明の実施例 4 のマイクロ光偏向器を説明するための概略斜視図を示している。本実施例のマイクロ光偏向器においても、シリコン単結晶薄板には、バルクマイクロマシニング技術により、上記実施例ないし変形例で説明したようなトーションスプリング（不図示）とミラー 3 3 0 が、一体に形成されている。ミラー 3 3 0 の端には、軟磁性体材料からなる可動コア 3 4 1 が固定されている。ミラー 3 3 0 は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションスプリングによりその長軸であるねじり軸の回りに揺動自在に支持されている。

【 0 1 0 6 】

一方、ガラス基板（不図示）の上には、軟磁性体材料からなる固定コア 3 4 2

が配置されており、この固定コア 3 4 2 をコイル（不図示）が周回している。そして、シリコン単結晶薄板とガラス基板は、可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 のほぼ平行に対向する面が、所定の間隔を保つように接合されている。すなわち、ミラー 3 3 0 が揺動するときに、これら対向する面がほぼ平行状態を保ったままその重なり面積（可動コア 3 4 1 が、固定コア 3 4 2 に発生した磁束を切る断面積）が変化する様になっている。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 で 2 つの間隙を含む閉じた直列磁気回路が形成される。

【 0 1 0 7 】

本実施例の光偏向器の動作について説明する。

コイルに通電すると、固定コア 3 4 2 が励磁される。図 2 1 では、固定コア 3 4 2 の図中手前側が N 極に、奥側が S 極に励磁されている様子を表している。すると、可動コア 3 4 1 は、上記対向面の重なり面積が増す方向（固定コア 3 4 2 で発生した磁束路に吸引される方向）、即ち図 2 1 の矢印の方向に引き付けられる。可動コア 3 4 1 と固定コア 3 4 2 は、上記対向面の重なり面積が増加できる様に非通電時には高さが異なる状態で配置されているので、トーションスプリングの回りに左回りの回転モーメントが生じる。ミラー 3 3 0 の共振周波数に合わせてコイルへの通電を ON / OFF すると、ミラー 3 3 0 がトーションスプリングの回りに共振を起こす。この状態でミラー 3 3 0 に光線を入射することで、光の走査を行うことができる。

【 0 1 0 8 】

[実施例 5]

図 2 2 は、実施例 5 の光走査型ディスプレイを説明する図である。X 光偏向器 4 0 1 と Y 光偏向器 4 0 2 は、上記実施例ないし変形例の光偏向器と同様のものである。コントローラ 4 0 9 は、X 光偏向器 4 0 1 と Y 光偏向器 4 0 2 を制御して、レーザ光線 4 1 0 をラスタ状に走査し、表示する情報に応じてレーザ発振器 4 0 5 を変調することで、スクリーン 4 0 7 上に画像を 2 次元的に表示する。

【 0 1 0 9 】

本発明の光偏向器を光走査型ディスプレイに適用することで、精細な画像を形成できエネルギー効率が低い光走査型ディスプレイを実現することができる。

【 0 1 1 0 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、揺動体を支持するトーションスプリングの断面形状を、平板状の揺動体の平面に対して傾斜した部分を有するように形成したので、トーションスプリングが揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ撓みにくくなり、揺動体の正確な揺動運動を可能にしたマイクロ構造体を効果的に実現できる。また、その材質を単結晶材料にすれば、ねじれ易く撓みにくいトーションスプリングを持ち機械的なQ値が大きなマイクロ構造体を提供することができる。また、機械的なQ値が高いためにノイズが少なく、感度の高い、力学量センサを提供できる。また、機械的なQ値が高いために、共振駆動したときに振幅が大きく、また、エネルギー効率の高いマイクロアクチュエータを提供できる。また、機械的なQ値が高いために、共振駆動したときに振幅が大きく、また、エネルギー効率の高いマイクロ光偏向器を提供できる。

【 0 1 1 1 】

本発明の光偏向器を光走査型ディスプレイに適用することで、精細な画像を形成できる光走査型ディスプレイも提供できる。更に、本発明の製造方法を用いることで、本発明のマイクロ構造体、マイクロ光偏向器、マイクロ力学量センサ及びマイクロアクチュエータを比較的容易に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例 1 の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 2】

実施例 1 の光偏向器を説明するための分解図（a）、及びトーションバーの縦断面図（b）である。

【図 3】

実施例 1 等の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 4】

実施例 1 の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の横断面図である。

【図 5】

シリコンの異方性エッチングを説明する図である。

【図 6】

実施例 1 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 7】

実施例 1 等の光偏向器のガラス基板の作製プロセスを説明する図である。

【図 8】

本発明の実施例 1 の変形例の光偏向器を説明するための斜視図 (a)、及びトーシヨンスプリングの断面図 (b) である。

【図 9】

本発明の実施例 2 の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 1 0】

実施例 2 の光偏向器を説明するための分解図 (a)、及びトーシヨンスプリングの縦断面図 (b) である。

【図 1 1】

実施例 2 の光偏向器を説明するためのトーシヨンスプリングの部分の横断面図である。

【図 1 2】

実施例 2 の光偏向器を説明するための平面図である。

【図 1 3】

実施例 2 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 4】

本発明の実施例 2 の変形例の光偏向器を説明するための斜視図 (a)、及びトーシヨンスプリングの断面図 (b) である。

【図 1 5】

実施例 2 の変形例の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 1 6】

本発明の実施例 3 の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 1 7】

実施例 3 の光偏向器を説明するための分解図 (a)、及びトーションスプリングの縦断面図 (b) である。

【図 1 8】

実施例 3 の光偏向器を説明するためのトーションスプリングの部分の横断面図である。

【図 1 9】

実施例 3 の光偏向器のシリコン単結晶薄板の作製プロセスを説明する図である。

【図 2 0】

本発明の実施例 3 の変形例の光偏向器を説明するための斜視図 (a)、及びトーションスプリングの断面図 (b) である。

【図 2 1】

実施例 4 の光偏向器の動作原理を説明する概略斜視図である。

【図 2 2】

本発明の実施例 5 の光走査型ディスプレイを説明する図である。

【図 2 3】

従来の光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 2 4】

従来の光偏向器を説明するための分解図である。

【図 2 5】

従来の光偏向器を説明するための断面図である。

【図 2 6】

従来の光偏向器を説明するためのトーションバーの部分の断面図である。

【図 2 7】

従来のハードディスク用ジンバルを説明する上面図である。

【図 2 8】

従来のハードディスク用ジンバルを説明するための断面図である。

【図 2 9】

従来のハードディスク用ジンバルの作製プロセスを説明する図である。

【符号の説明】

1 1 0 ガラス基板
 1 1 2 凹み部
 1 1 4、1 1 6 駆動電極
 1 2 0、6 2 0、7 2 0 シリコン単結晶薄板
 1 2 2、1 2 3、1 2 4、1 2 5、1 2 8、1 2 9、5 2 8、5 2 9、6 2 8
 、6 2 9、7 2 8、7 2 9 トーションスプリング（トーションバー）
 1 2 2 a、1 2 4 a、1 2 8 a、1 2 9 a トーションスプリングの付け

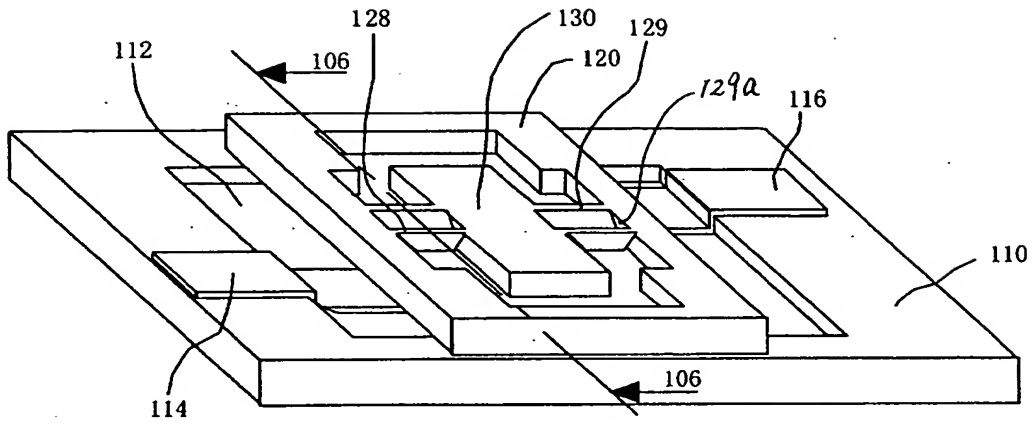
根部の斜面

1 3 0、3 3 0、6 3 0、7 3 0 ミラー
 1 3 2 ミラー支持部
 1 5 0、7 3 1、7 3 2 マスク層
 1 9 0、1 9 1 開口部
 3 4 1 可動コア
 3 4 2 固定コア
 4 0 1 X光偏向器
 4 0 2 Y光偏向器
 4 0 5 レーザ発振器
 4 0 7 スクリーン
 4 0 9 コントローラ
 4 1 0 レーザ光線
 1 0 1 0 絶縁性基板
 1 0 1 4、1 0 1 6 駆動電極
 1 0 2 0 シリコン薄板
 1 0 2 2、1 0 2 4、2 0 0 1、2 0 0 2 トーションバー
 1 0 3 0、2 0 1 1 ミラー
 1 0 3 2 ミラー支持部
 2 0 2 0 ジンバル
 2 0 2 2、2 0 2 4 ロールトーションバー
 2 0 2 6、2 0 2 8 ピッチトーションバー

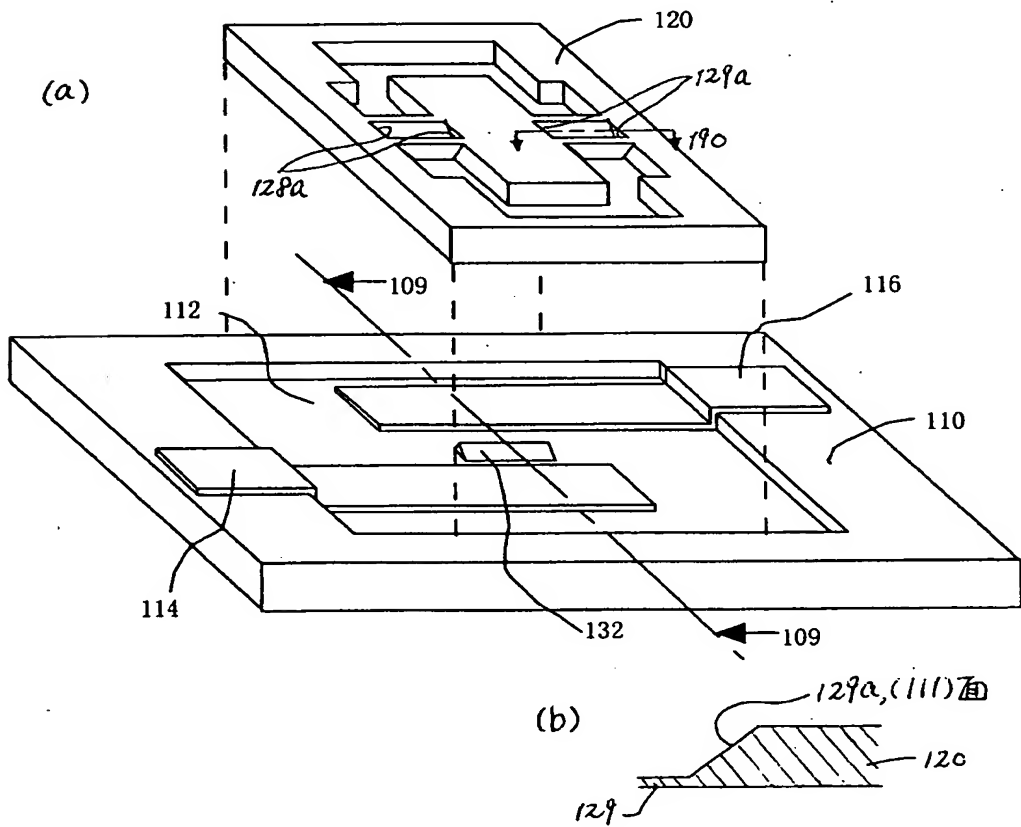
2 0 3 0	ヘッド支持体
2 0 3 1	支持枠
2 0 9 1	型取り用シリコンウェハー
2 0 9 2	犠牲層
2 0 9 3	ポリシリコン層
2 0 9 4	エポキシ樹脂
2 0 9 5	パッド

【書類名】 図面

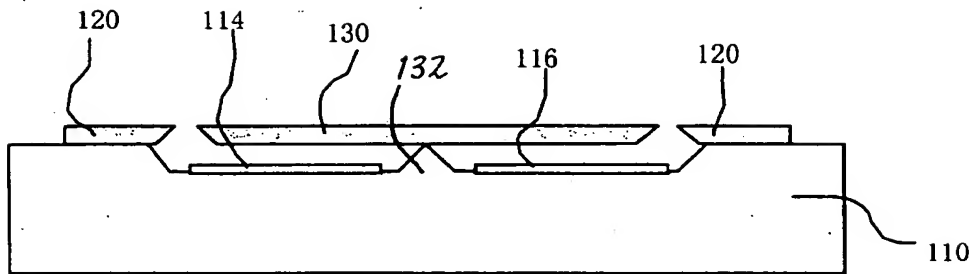
【図 1】



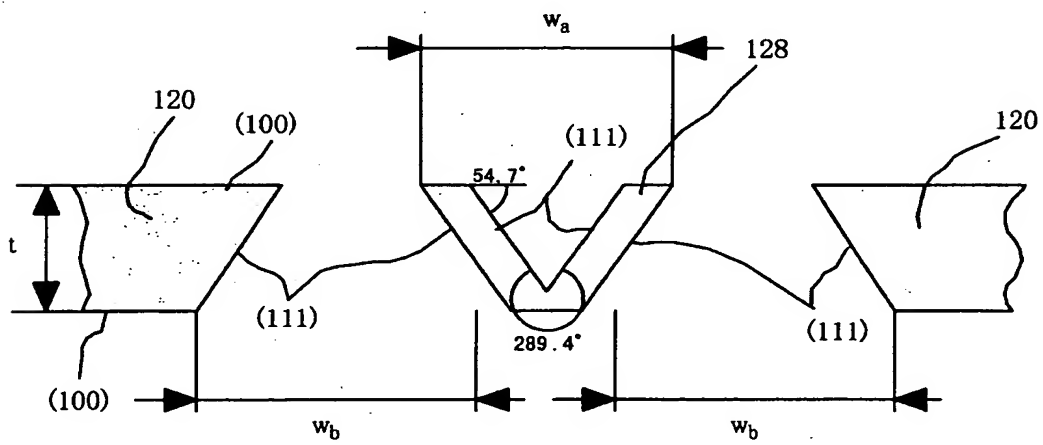
【図 2】



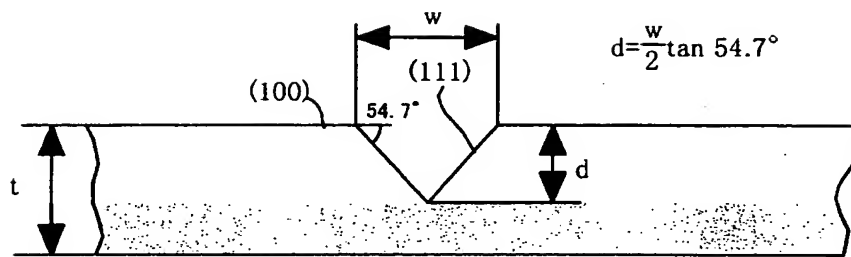
【図 3】



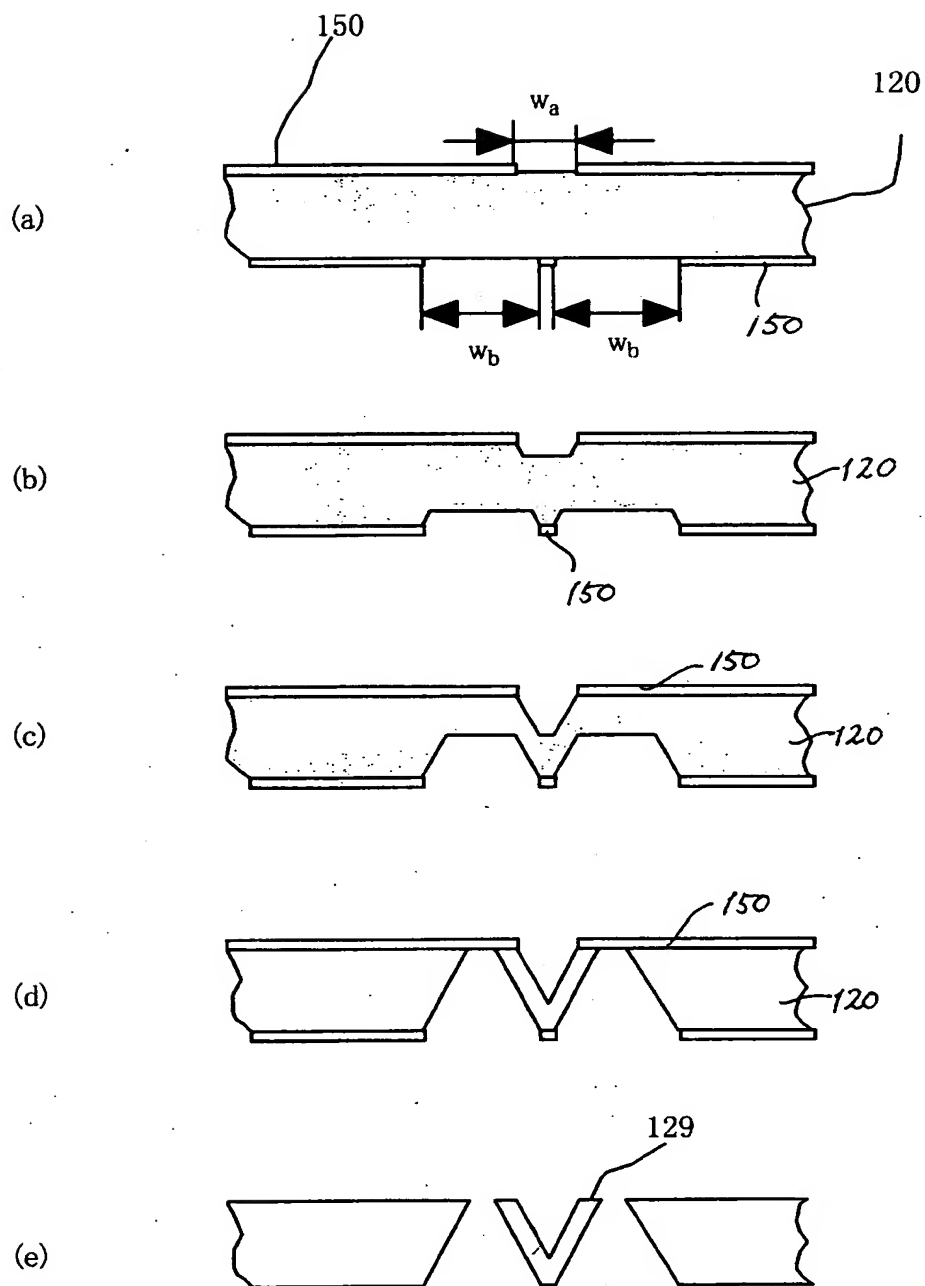
【図 4】



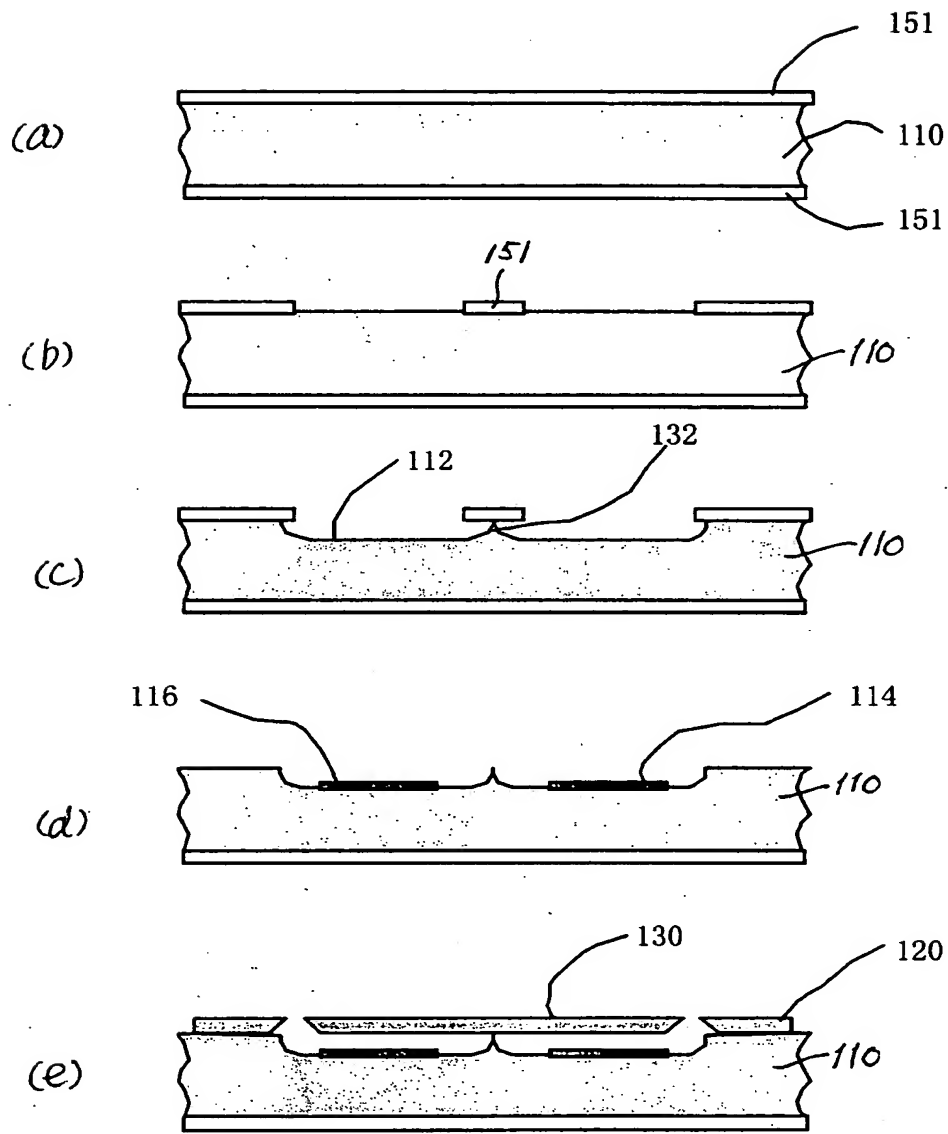
【図 5】



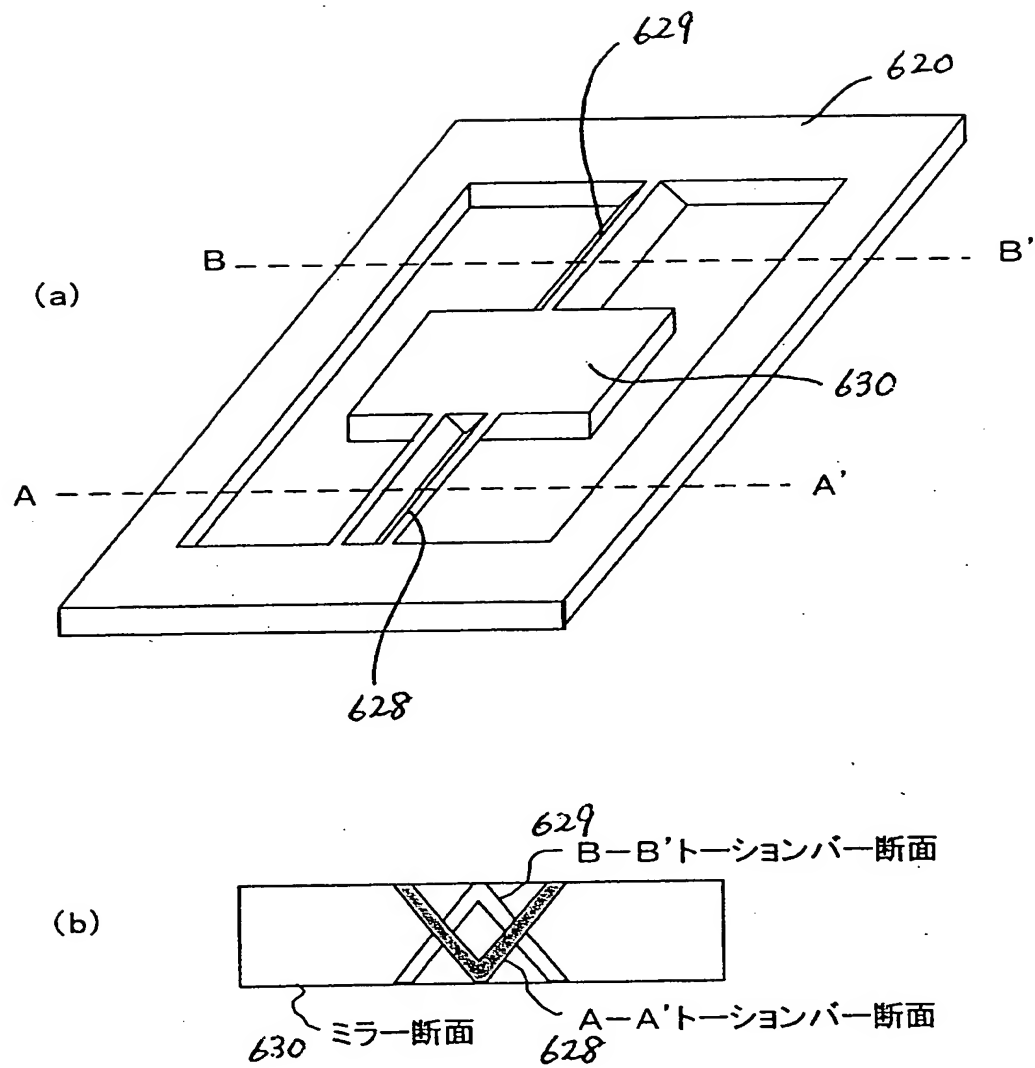
【図 6】



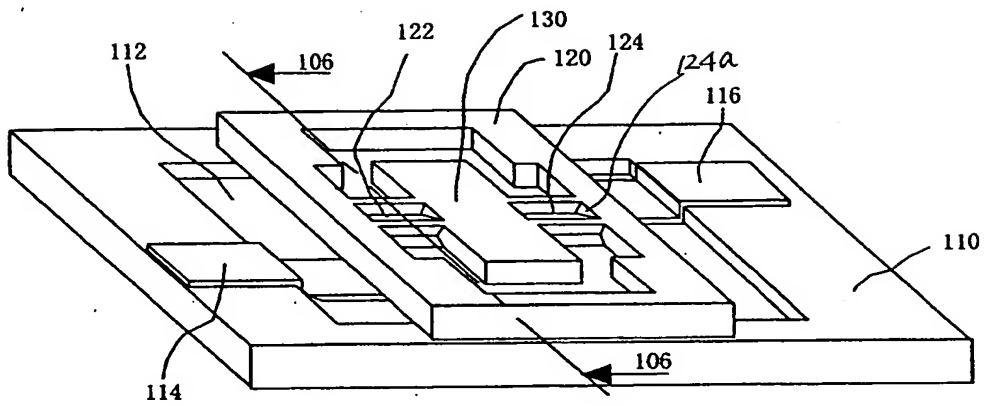
【図 7】



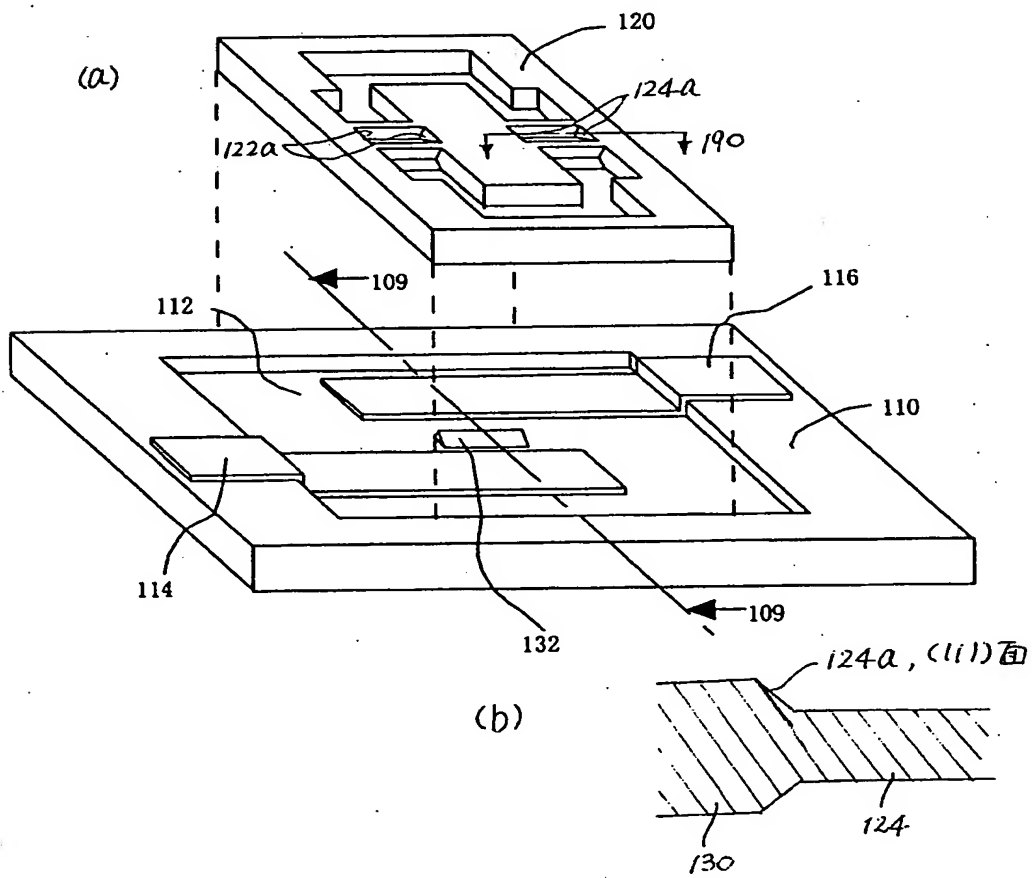
【図 8】



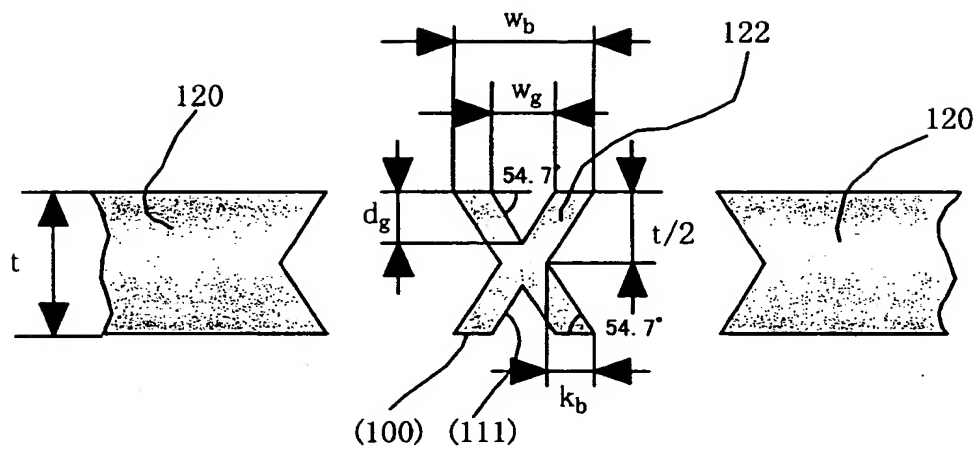
【図 9】



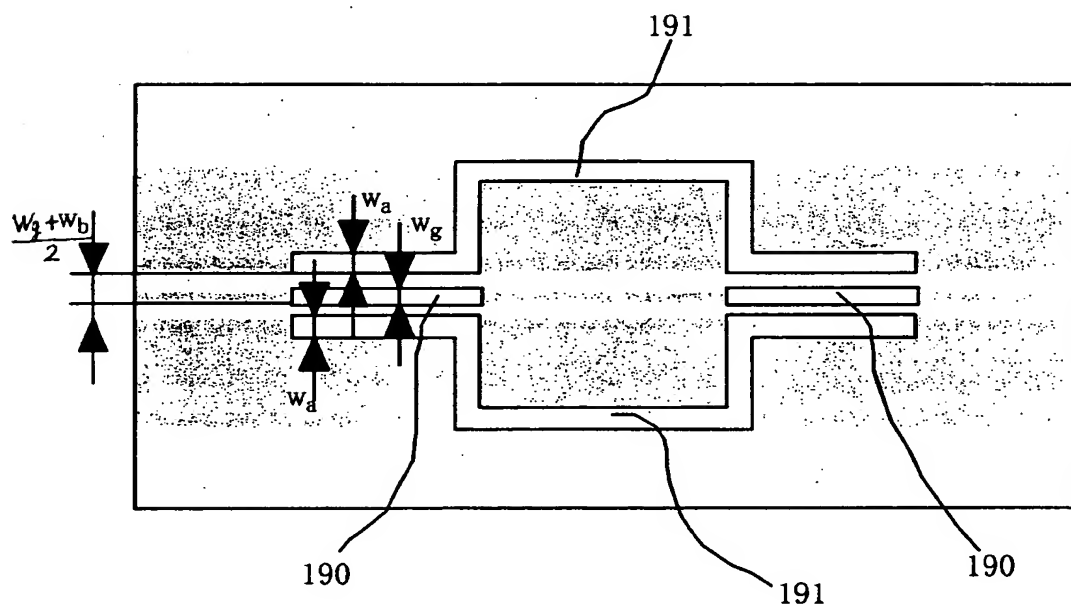
【図 10】



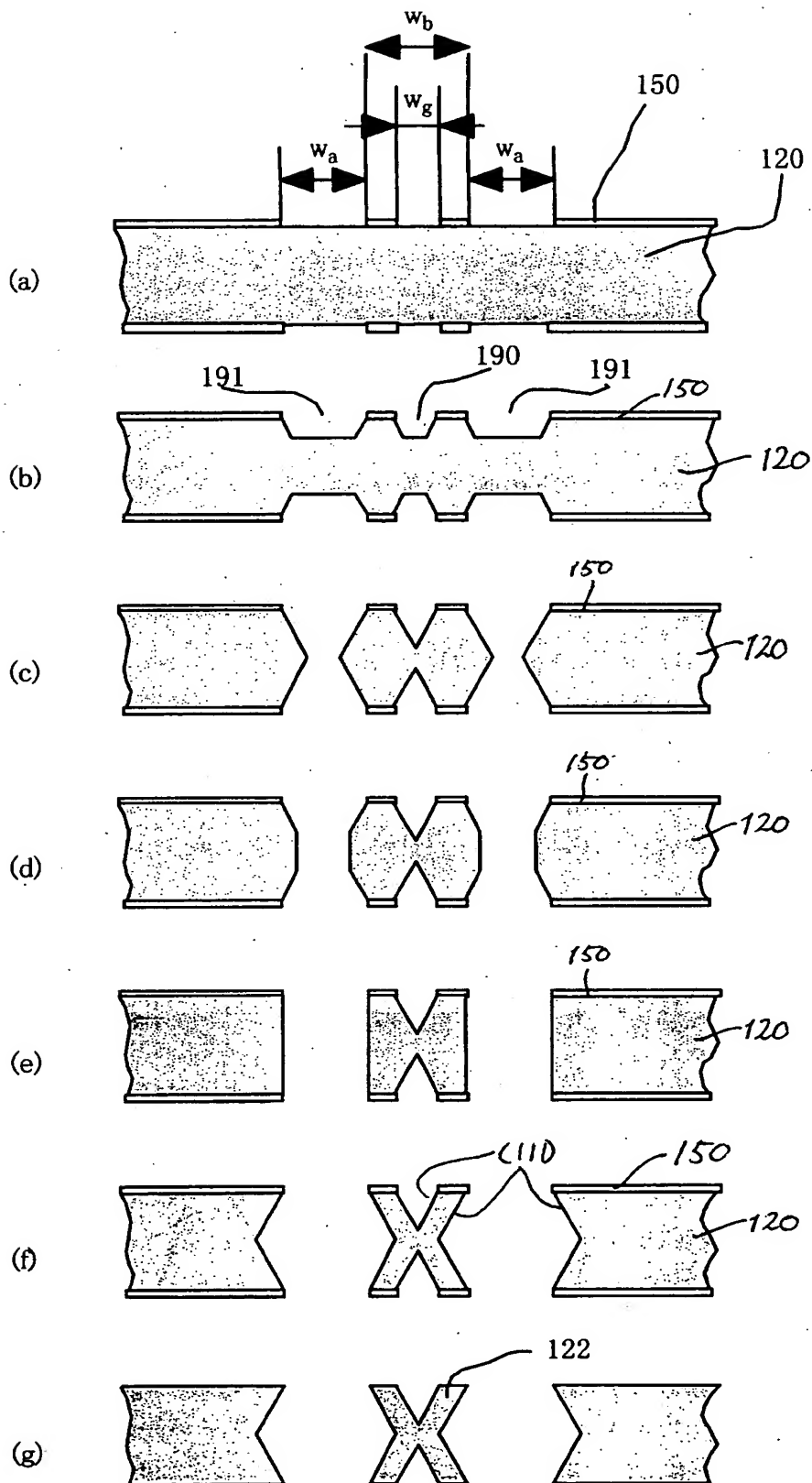
【図 1 1】



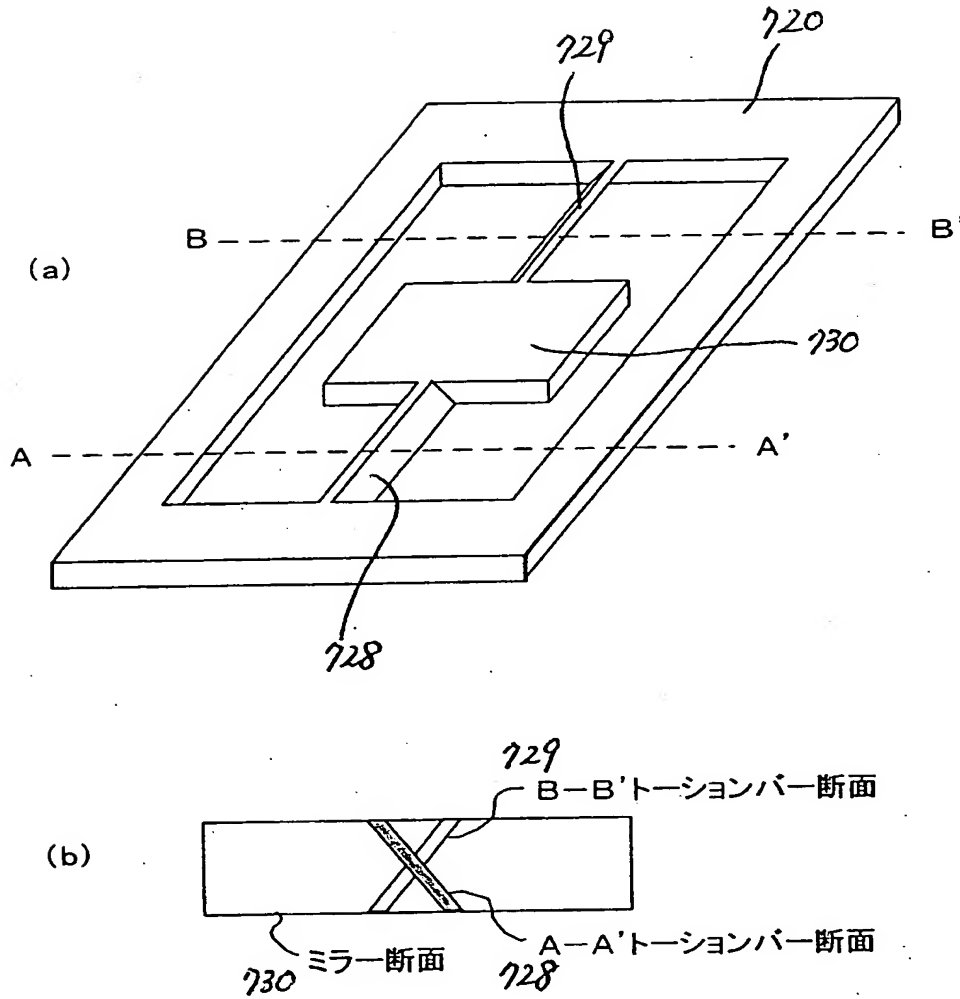
【図 1 2】



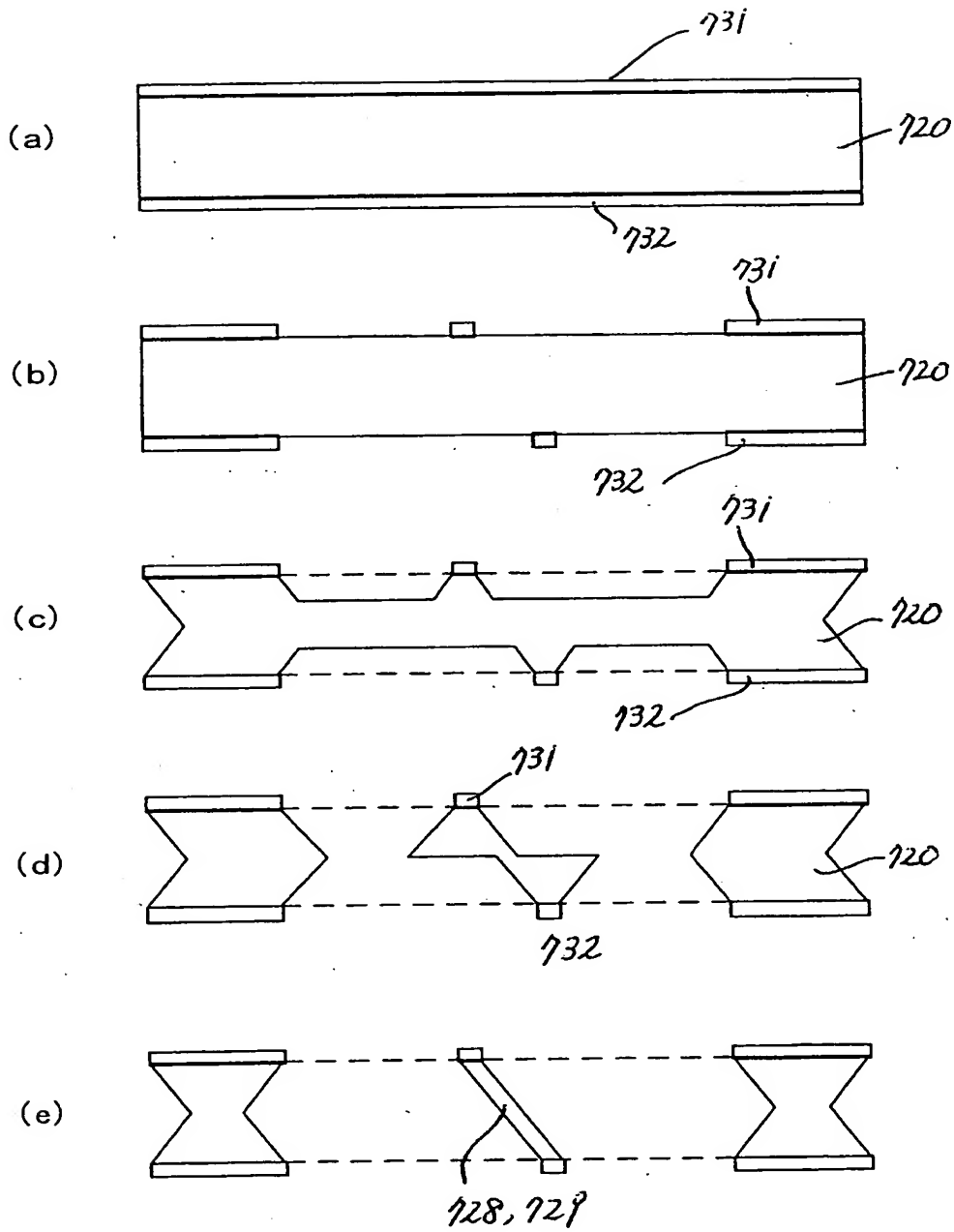
【図 13】



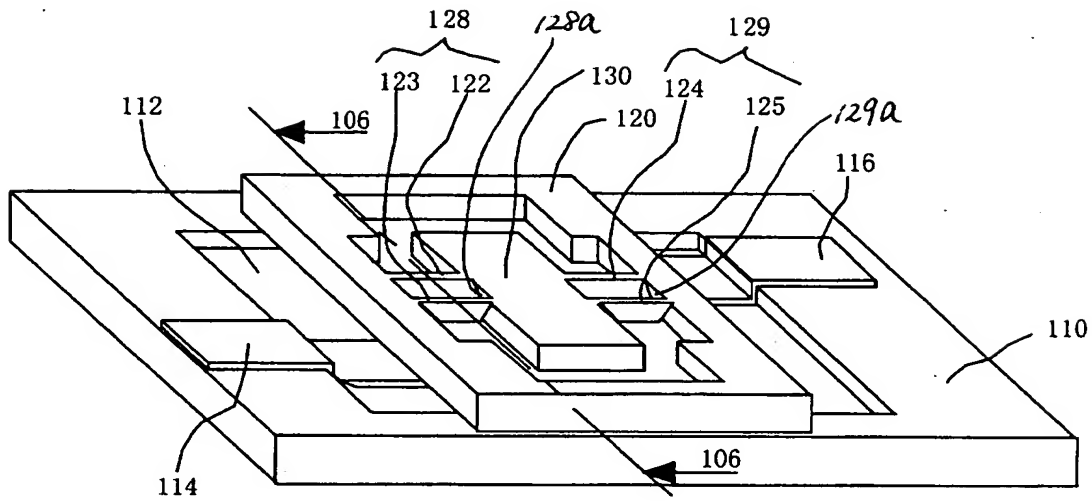
【図 1 4】



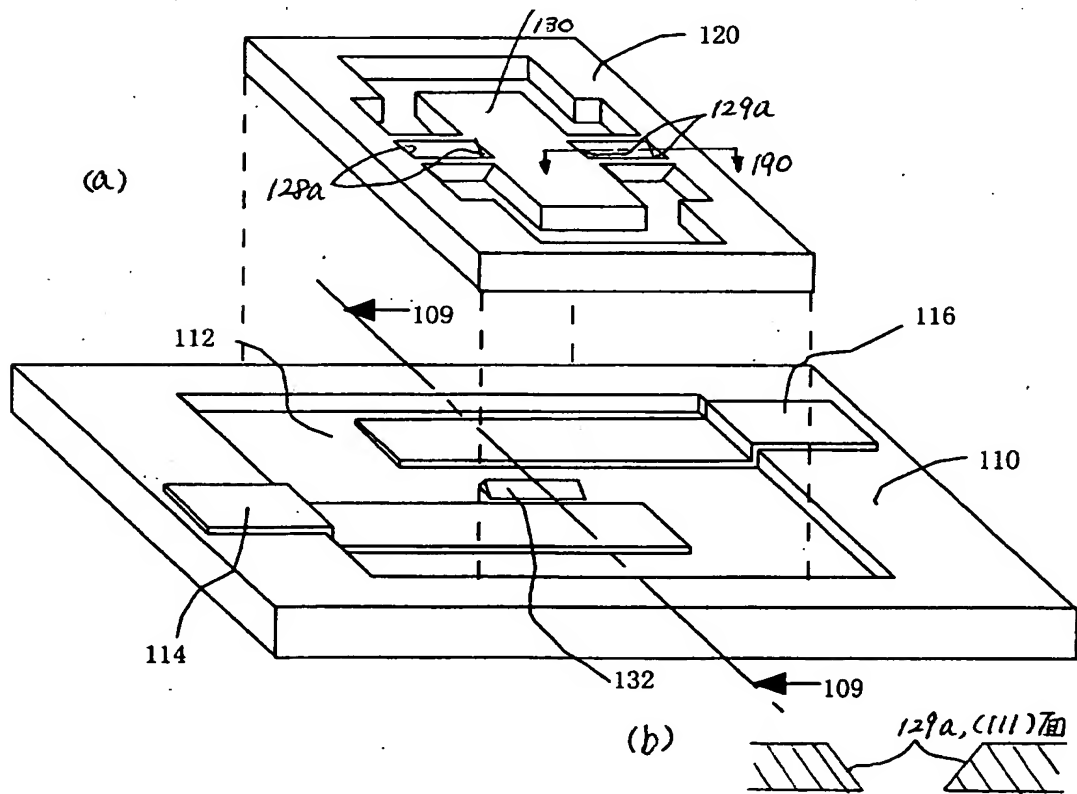
【図15】



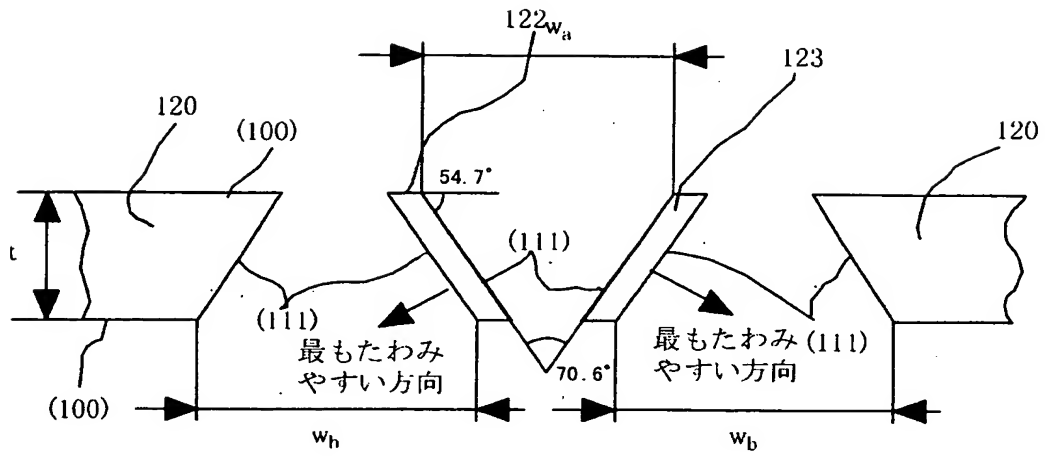
【図 16】



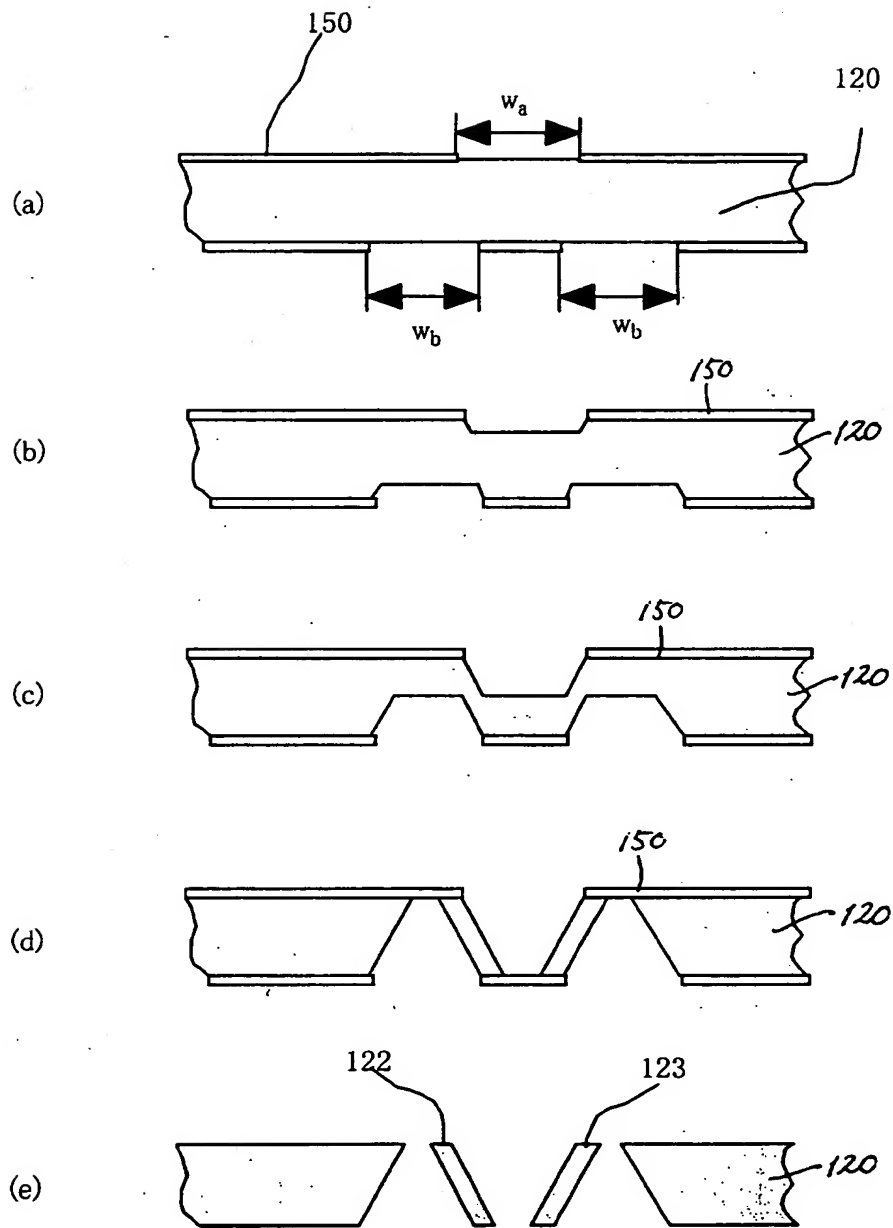
【図 17】



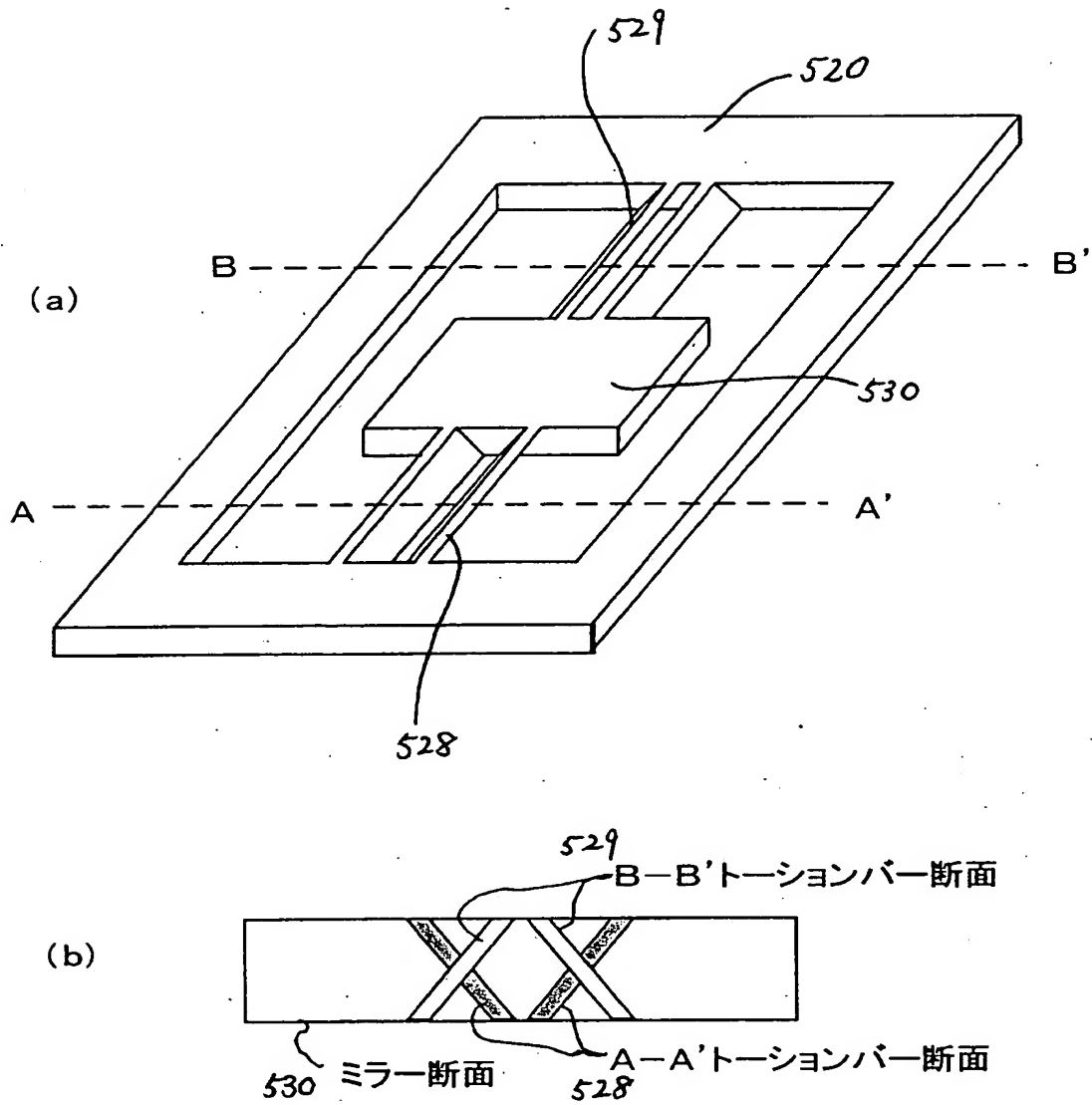
【図 18】



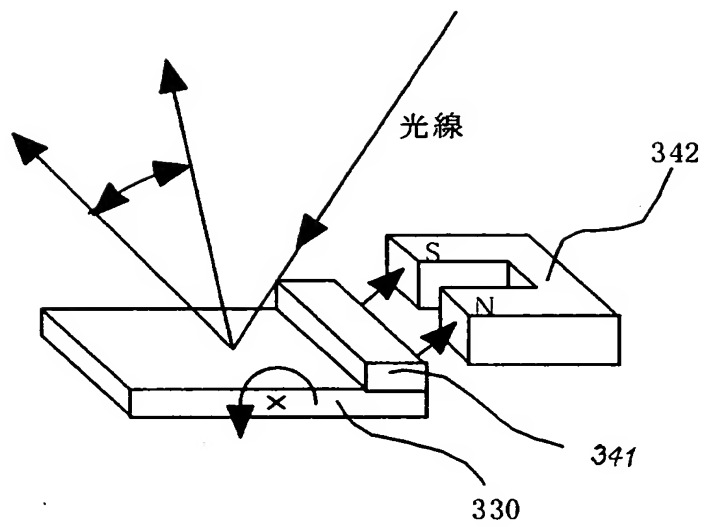
【図 1 9】



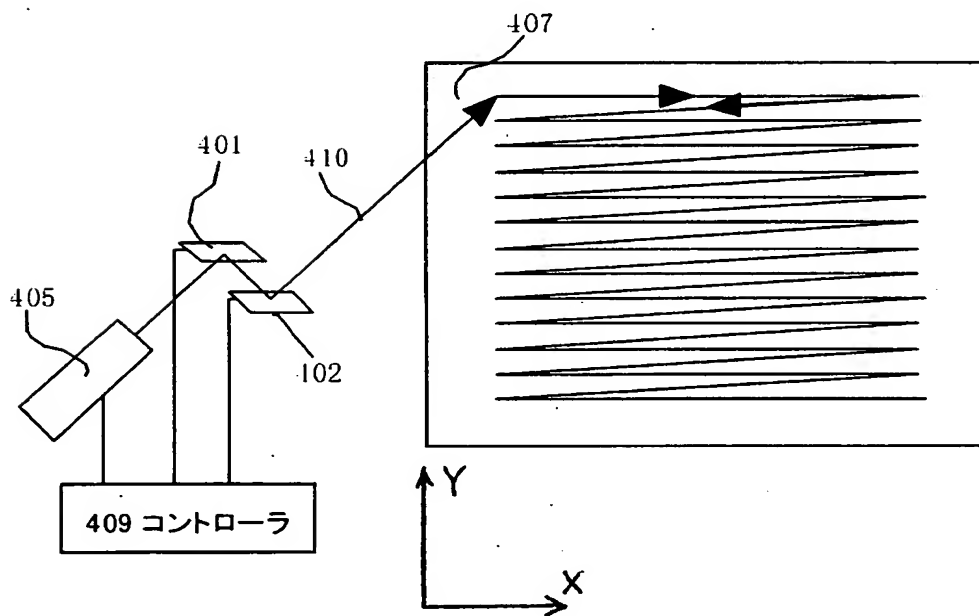
【図 2 0】



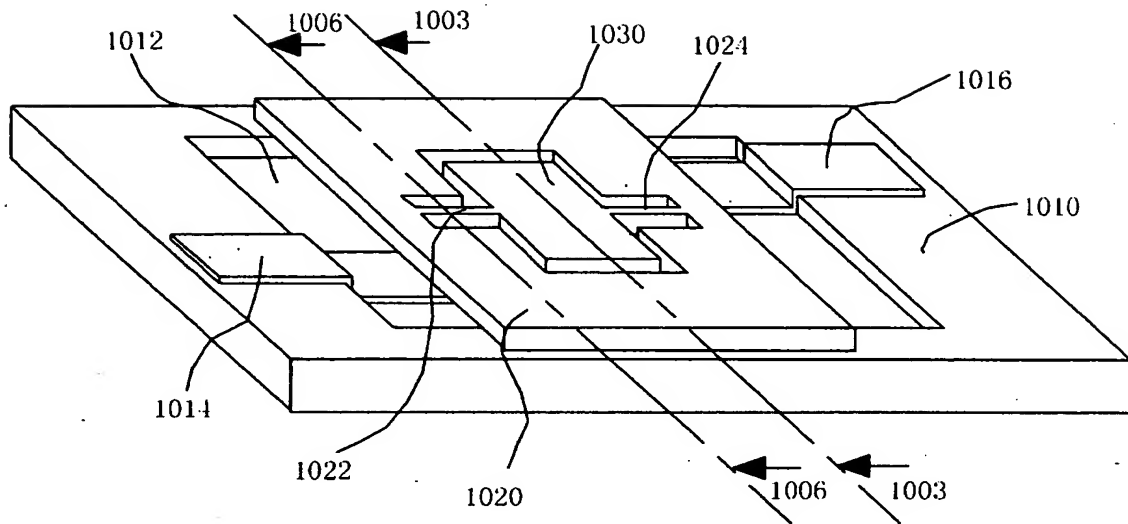
【図 2 1】



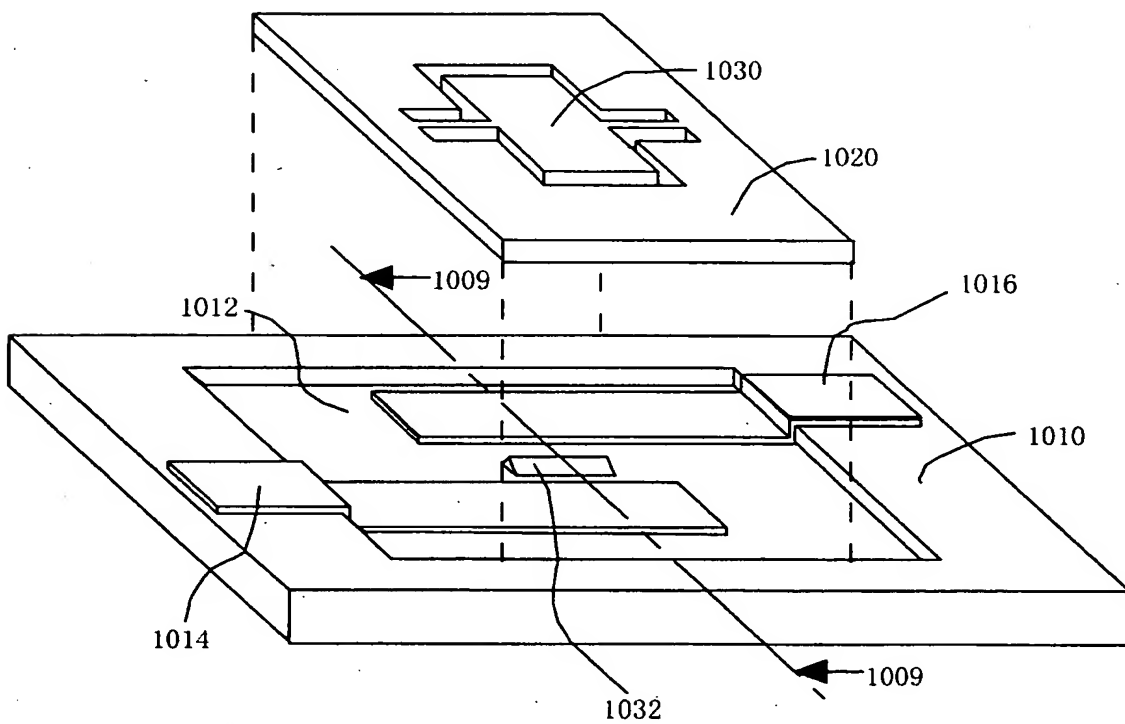
【図 2 2】



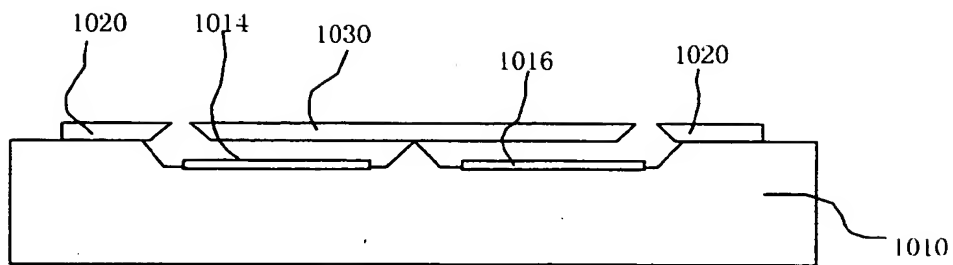
【図 23】



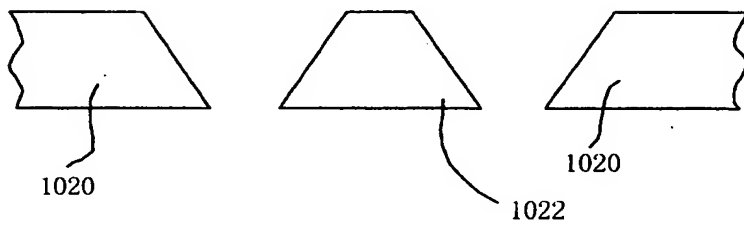
【図 24】



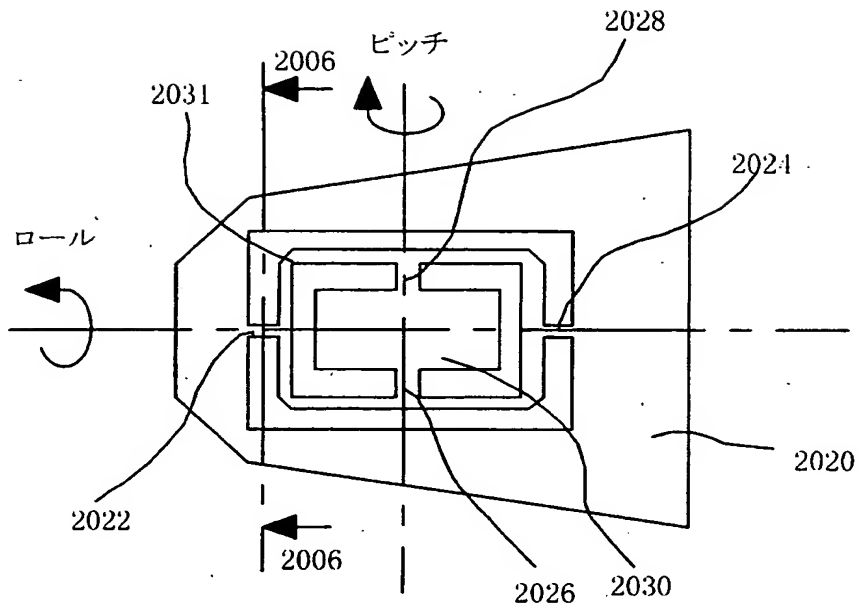
【図 2 5】



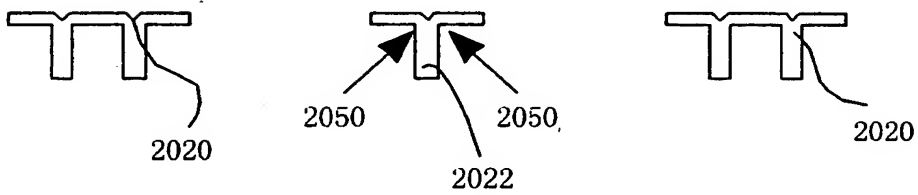
【図 2 6】



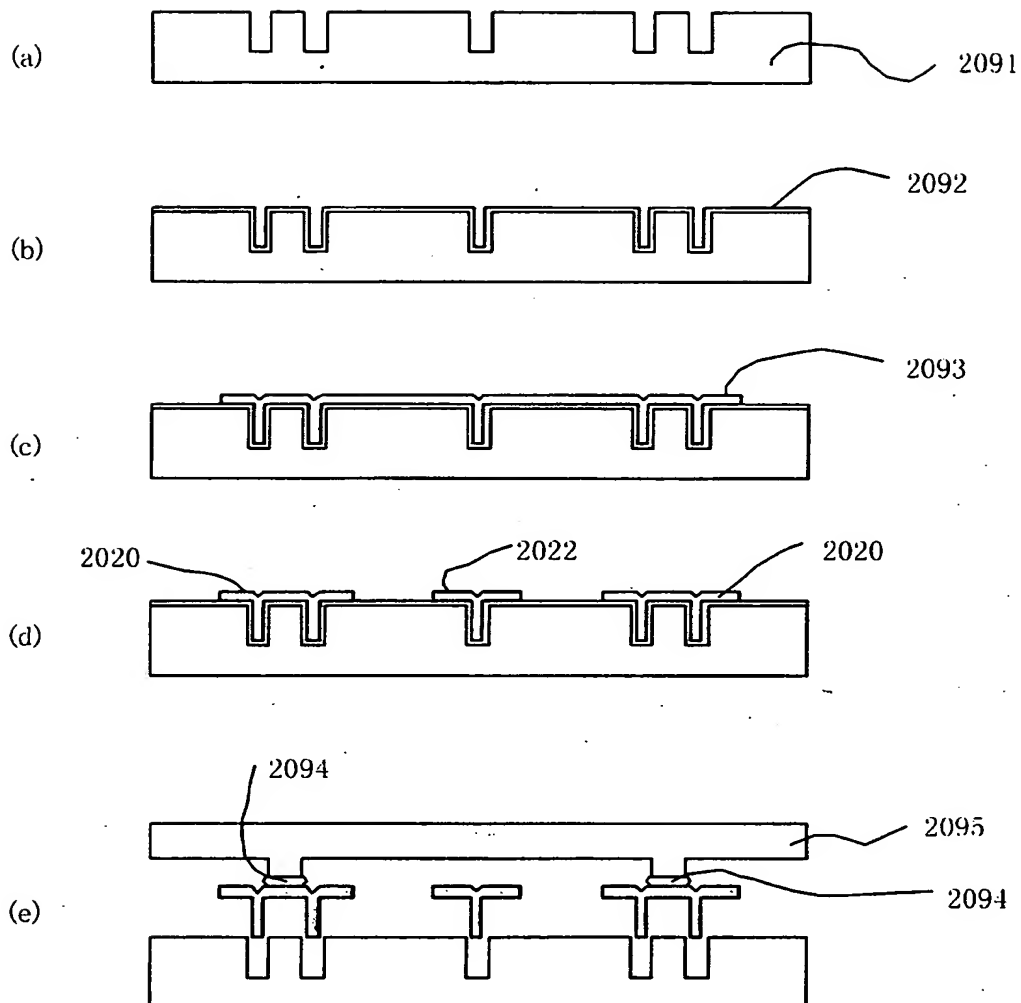
【図 2 7】



【図 2 8】



【図 2 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 揺動体の平面に対して垂直、平行方向へ撓みにくいトーションスプリングで揺動自由に支持された揺動体を有するマイクロ構造体である。

【解決手段】 基板 1 2 0 と平板状の揺動体 1 3 0 を有し、揺動体 1 3 0 がトーションスプリング 1 2 8、1 2 9 によって基板 1 2 0 に弾性的に揺動自由に支持されているマイクロ構造体である。トーションスプリング 1 2 8、1 2 9 は、その長軸に垂直な面の断面形状の少なくとも一部が、平板状の揺動体 1 3 0 の平面に対して傾斜している。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2001-279383
受付番号	50101354999
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成13年 9月19日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000001007
【住所又は居所】	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
【氏名又は名称】	キヤノン株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100086483
【住所又は居所】	千葉県東葛飾郡沼南町大津ヶ丘3-17-10-602
【氏名又は名称】	加藤 一男

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日	1990年 8月30日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名	キャノン株式会社